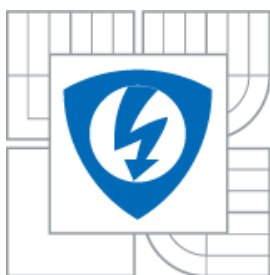




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

INTELIGENTNÍ ŘÍZENÍ MODELU VLAKOVÉHO KOLEJIŠTĚ

INTELLIGENT CONTROL OF TRAIN TRACK MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ PROKŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL PAVLÍK, Ph.D.

BRNO 2013

Abstrakt:

Tato práce se zabývá návrhem prvků řízeného modelu vlakového kolejiště. V první části je práce zaměřena na principy datové komunikace. Vysvětluje, co to komunikace je a jak probíhá. Praktická část se zaměřuje na návrh komunikace, ve které je informace přenášena prostřednictvím infračerveného záření. Popisuje funkční částí systému a jejich návrh, mezi něž patří zejména: řídicí část, příjem a vysílání řídicího signálu, spínací prvky a h-můstek. Při návrhu jsou zohledněny parametry prvků určených pro modely železnic, které jsou dostupné na trhu. Na konci práce jsou shrnuty parametry výsledného návrhu, jeho použití, výhody a nevýhody.

Klíčová slova:

Datová komunikace, interference, h-můstek, PWM, fototranzistor, IR LED dioda

Abstract:

The aim of this thesis is design of elements intelligent control of train track model. The first part of the thesis is focused on principle of data communication. It explains what it is data communication and how it works out. Practical part of the thesis is focused on design of communication. Data communication is realized by infrared radiation. Practical part describes the functional parts of system and their design, such as: control part, receiver and transmitter, switching elements and h-bridge. Properties of elements specialize for model of railway are considered in design. Summary of the design's parameters, use, advantages and disadvantages are described at the end of this thesis.

Keywords:

Data communication, interference, h-bridge, PWM, phototransistor, IR LED diode.

Bibliografická citace díla:

PROKŠ, J. *Inteligentní řízení modelu vlakového kolejiště*.

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 61 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Pavlík, Ph.D..

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení.

V Brně dne

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Pavlíkovi, Ph.D., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

Úvod	6
1. Komunikace	7
1.1 Datová komunikace	7
1.2 Protokoly	8
1.3 Standardy	9
1.4 Organizace	10
1.5 OSI model	11
1.5.1 Fyzická vrstva	12
1.5.2 Linková vrstva	12
1.5.3 Síťová vrstva	12
1.5.4 Transportní vrstva	12
1.5.5 Shromažďovací vrstva	13
1.5.6 Prezentační vrstva	13
1.5.7 Aplikační vrstva	13
1.6 Režim přenosu dat	14
1.6.1 Simplex	14
1.6.2 Half-duplex	14
1.6.3 Full-duplex	15
1.7 Digitální signál	16
1.7.1 Spektrum digitálního signálu	16
1.7.2 Přenos digitálního signálu	17
1.8 Přenos digitálních informací	17
1.8.1 Paralelní přenos	18
1.8.2 Sériový přenos	18
1.8.3 Sériový asynchronní přenos	19
1.8.4 Sériové vstupní a výstupní obvody UART	19
1.8.5 Sériový synchronní přenos	20
1.8.6 Sériové vstupní a výstupní obvody SPI	20
2. Přenosová média	22
3. Modulace	24
3.1 Amplitudová klíčová modulace (ASK)	25
3.2 Frekvenční klíčová modulace (FSK)	26
3.3 Fázová klíčová modulace (PSK)	27

4.	Interference	28
5.	Praktická část	31
5.1	Komunikace	31
5.1.1	Analýza implementačního obvodu	32
5.1.2	Integrovaný obvod LM567	34
5.1.3	Optoelektronické prvky	35
5.1.4	Komunikační kmitočet	40
5.2	Napájení	40
5.2.1	Návěstidla	40
5.2.2	Přestavníky	41
5.2.3	Motor	42
5.2.4	Způsob napájení kolejiště	42
5.3	H-můstek	43
5.4	Spínací tranzistory	47
5.5	Návrh desek plošných spojů	50
5.5.1	Řídící deska	50
6.	Závěr	53
7.	Seznam použitých zdrojů:	54
8.	Seznam obrázků, tabulek a příloh	56
	Seznam obrázků:	56
	Seznam tabulek	57
	Seznam příloh	57
9.	Seznam symbolů a zkratk	59

Úvod

Existuje řada výrobců dílů určených pro modely železnic. Při investování nemalých částek mohou vzniknout rozsáhlé modely, nebo přímo kopie reálných železničních stanic. Od jednoduchých modelů s několika návěstidly a výhybkami až po modely řízené počítačem. Pokud se začne někdo věnovat stavbě železničních modelů, bývá to koníček, mnoho práce a starostí na několik let, často až do konce života.

Nejjednodušší způsob ovládání modelů vláčků je napájení jednotlivých úseků kolejiště podle toho, po kterém úseku se má vláček pohybovat. Toto řešení je nejčastěji realizováno ve vlakové stanici modelu. Hlavní trať je permanentně napájena a k ní se připojují jednotlivé větve ve stanici podle toho, po které má projet vlak, zastavit nebo odjet. Toto řešení je jednoduché a vhodné pro realizaci jednoduchých modelů a pro pohyb jediné soupravy po hlavní trati.

Další možností, která je obsahem této práce, je zajistit řízení jednotlivých modelů vláčků na trati a tím docílit nezávislost jednotlivých souprav. Pak je možný pohyb více souprav po stejné trati a každá se může pohybovat jinou rychlostí, například při průjezdu zatáčkou nebo úsekem trati se sníženou dovolenou rychlostí apod., což předchozí případ nedovoloval.

Model kolejiště je řízen mikroprocesorem, který přijímá příkazy od obsluhy kolejiště prostřednictvím počítače. Aby mikroprocesor mohl řídit pohyb vláčků, je nezbytné vybudovat komunikační systém. Při návrhu komunikačního systému jsou potřebné znalosti o datové komunikaci. Řídicí signál je možné přenášet bezdrátově nebo po koleji společně s napájením.

1. Komunikace

Komunikace je sdílení či přenos informace od zdroje k příjemci. Informace musí být příjemcem přijata a správně pochopena. Komunikace mezi počítači nebo jakýmkoliv jinými elektronickými zařízeními je podobná komunikaci mezi lidmi.

S komunikací mezi elektronickými zařízeními se prakticky setkáváme v každodenním životě. Komunikace může probíhat na krátké i dlouhé vzdálenosti. V jakémkoliv systému řízeném počítačem (mikroprocesorem) probíhá komunikace. Nejjednodušší způsob komunikace je komunikace mezi řídicím systémem a jeho senzory, které mu poskytují informace o řízené veličině, okolním prostředí atd. a akčními členy, které mikroprocesor využívá k zásahům do řízeného procesu. Propojení mezi mikroprocesorem a dalšími prvky komunikace je provedeno prostřednictvím vodičů. Tyto vodiče označujeme jako sběrnice a říkáme, že dochází ke komunikaci po sběrnici. Například v automobilech se využívá sběrnice CAN bus pro výměnu informací mezi řídicími jednotkami, například mezi řídicí jednotkou motoru a řídicí jednotkou ESP nebo systémem proti prokluzu ASR. Na porozumění i realizaci jsou nejsložitější počítačové sítě, po kterých probíhá přenos informace na vzdálenost stovek kilometrů. Jednotlivé počítače jsou slučovány do místních sítí. V této práci se komunikací v počítačových sítích nebudeme zabývat.

1.1 Datová komunikace

V této práci se budeme zabývat komunikací mezi procesory, tedy digitálními systémy. Digitální systémy využívají k reprezentaci informace binární kódování (log 1 a log 0). Přenášená data jsou vyjádřena řetězcem logických jedniček a logických nul.

Aby mohla dvě zařízení spolu komunikovat, musí být součástí komunikačního systému vytvořeného kombinací hardwaru a softwaru. [1]. Úkolem takového systému je přenášet data příjemcům pro ně určená, bez zkreslení a ve správném načasování.

Obrázek 1 ukazuje základní prvky, které musí komunikace obsahovat:

- Vysílač
- Příjemce
- přenosové medium
- přenášená informace
- protokol.

Vysílačem je zařízení, které posílá zprávu příjemci, tedy přijímači. Přenosové médium je fyzická cesta, přes kterou je zpráva poslána. Tím může být například vzduch a zpráva se šíří ve formě elektromagnetické vlny, nebo vodič, po kterém se zpráva šíří jako elektrický proud nebo elektrické napětí. Přenášená informace je reprezentována binární soustavou a protokol je souhrn pravidel, podle kterých probíhá komunikace. Bez těchto pravidel by ke komunikaci nedošlo, i když by zařízení byla fyzicky propojena. Je to nejdůležitější součást přenosu dat a tato pravidla musí respektovat obě komunikující jednotky, jinak by nemuselo dojít ke správnému porozumění zprávy, nebo k přenosu informace. To se dá interpretovat tak, že osoba hovořící francouzsky nemůže pochopit informaci předanou v japonštině.



Obrázek 1: Datová komunikace

1.2 Protokoly

Jak bylo uvedeno výše, protokol je souhrn pravidel, která určují komunikaci. Protokol definuje co je komunikace, jak komunikace probíhá a kdy dochází ke vzájemné komunikaci [1].

Komunikace probíhá podle předem stanovených syntaktických a sémantických pravidel [2]. Syntaxe určuje strukturu nebo formát dat, to znamená význam uspořádání, tak jak jsou řazeny. Sémantika určuje význam jednotlivé sekvence bitů. Určuje, co daná sekvence znamená, jak se má vyhodnotit a na základě vyhodnocení se provede patřičná operace pro další komunikaci. Například se může jednat o žádost o odpověď, že je přijímač připravený na příjem dat. Protokol také určuje časování. To zahrnuje, kdy mohou být data přenášena a s jakou přenosovou rychlostí. Vysílač může vysílat pouze takovou rychlostí, jakou je přijímač schopný data přijmout, v opačném případě by došlo ke ztrátě informace.

Z výše uvedeného vyplývá, že mezi vysílačem a přijímačem musí před zahájením i během přenosu panovat stejná pravidla [2].

1.3 Standardy

Standardy byly vytvořeny pro propojení elektronických zařízení mezi sebou od různých výrobců. Říkáme, že jsou obě zařízení kompatibilní. Standardy definují rozhraní mezi komunikujícími zařízeními (angl. interface).

Standardy definují mechanické, elektrické a funkční charakteristiky rozhraní. Mezi mechanické specifikace standartu patří počet vodičů, maximální délka spojovacího kabelu, typ konektoru a zásuvky.

Elektrická specifikace definuje napětíové úrovně pro logickou jedničku a logickou nulu a formu přenášeného signálu (analogový/digitální). Ve většině případů se využívá pro definování logických úrovní určitý rozsah napětí, což zvyšuje odolnost proti rušení. Minimální hodnota této úrovně je obvykle vyšší než 0 V. Například standard RS-232 definuje logickou jedničku v napětíovém rozmezí od -3 do -15 V a logickou nulu od +3 do +15 V.

Funkční specifikace definuje funkce ostatních pinů. Například rozhraní RS-232 definuje další vodiče, po kterých nedochází k přenosu dat, ale slouží pro přenos informačních signálů od přijímače nebo vysílače. Například zprávu o připravenosti přijímače, vyžádání dat přijímačem, testovací vodiče aj.

Při návrhu zařízení, o kterém víme, že bude komunikovat s jiným zařízením, je nezbytné využít těchto standardů a zařízení vybavit patřičnými elektronickými obvody (v dnešní době integrovanými obvody). Tyto obvody převádí vstupní/výstupní signál na požadovanou napětíovou úroveň. Jako příklad si můžeme uvést obvody TTL, které pracují s napětím 5 V, reprezentující logickou jedničku. Pak rozhraní musí zajistit převod tohoto napětí na napětí požadované pro přenos a naopak (pro logickou jedničku je to na napětí od -3 do -15 V).

1.4 Organizace

V následující tabulce je uveden přehled organizací, které působí v oblasti elektrotechniky a elektroniky a definují jednotlivé standardy a doporučení v této oblasti.

Tabulka 1: Stručný přehled organizací působících v elektrotechnickém a elektronickém průmyslu

Zkratka	Název	Popis
ISO	International Standards Organization (Mezinárodní standardizační organizace)	Organizace vydávající normy platné po celém světě v širokém spektru průmyslových oblastí.
ITU-T	International Telecommunications Union – Telecommunication Standards Sector (Mezinárodní telekomunikační unie - Telekomunikační standardizační sektor)	Organizace definující standardy pro telekomunikaci. Mezi nejznámější standardy patří protokoly V série, které definují přenos dat po telefonní lince a protokoly X série definující přenos dat po veřejné digitální síti.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Institut elektrotechnických inženýrů)	Vývoj standardů pro počítače, komunikaci, elektrotechniku a elektroniku.
EIA	Electronic Industries Association (Asociace elektronického průmyslu)	Organizace vydala několik standardů definujících propojení elektronických zařízení, aby byla kompatibilní a zaměnitelná. Příkladem může být standard EIA – 232 D (RS-232)

Při návrhu jakéhokoliv elektronického zařízení je vhodné dodržovat doporučení, které uvádí jednotlivé organizace. Zajistí se tím kompatibilita daného zařízení.

1.5 OSI model

Jde o standard ISO zahrnující všechny aspekty síťové komunikace. Nejedná se o protokol, ale o model určený pro porozumění a navrhování sítí. Byl vyvinut jako pomocník návrhářům při návrhu komunikačních zařízení, která jsou určena pro komunikaci v síti s ostatními zařízeními bez ohledu na jejich vnitřní architekturu. Při dodržení tohoto modelu je navržené zařízení schopné komunikovat s jinými zařízeními navrženými podle OSI modelu.

OSI model je vrstevná struktura tvořená sedmi, navzájem oddělenými, vrstvami. Každá z vrstev definuje určitou část procesu přenosu informace prostřednictvím sítě. Tabulka 2 znázorňuje přehled jednotlivých vrstev a jejich stručný popis. Samotné vrstvy jsou podrobněji popsány v následujících odstavcích.

Pro realizaci jednodušších sítí tvořených pouze mikroprocesory komunikujícími navzájem, popřípadě se senzory a akčními členy, je využito pouze prvních dvou vrstev a poslední vrstvy. Ostatní vrstvy jsou využity při komunikaci v počítačových sítích a jsou zde zařazeny pouze pro informaci. V dalším textu budeme pojednávat o mikroprocesorových systémech.

Tabulka 2: OSI model

	Vrstva	Popis
7.	Aplikační	Umožňuje přístup k síti
6.	Prezentační	Převádí informaci na požadovaný formát (kódování, dekódování, komprese, dekomprese)
5.	Relační	Zařizuje, udržuje a synchronizuje komunikaci
4.	Transportní	Přeposlání zprávy aplikaci pro kterou je informace určena
3.	Síťová	Realizace přenosu informace prostřednictvím několika sítí, doručení informace zvolenému zařízení
2.	Linková	Přenos dat z jednoho síťového uzlu do druhého.
1.	Fyzická	Mechanické a elektrické specifikace přenosu dat, přenos dat prostřednictvím fyzického média.

1.5.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva zahrnuje funkce vyžadované pro přenos bitového toku přes fyzické médium. V této vrstvě jsou data převedena na formát vhodný pro přenos.

Do fyzické vrstvy patří tyto aspekty:

1. Konfigurace přenosového vedení (jakým způsobem jsou jednotlivá zařízení připojena k datovému vedení) a rovněž jestli je přenosové vedení sdílené nebo nikoliv.
2. Přenosový mód (half duplex, full duplex)
3. Topologie sítě
4. Signál (analogový, digitální)
5. Kódování
6. Interface (rozhraní)
7. Přenosové médium

1.5.2 Linková vrstva

Linková vrstva je zodpovědná za přenos dat (skupiny bitů) z jedné stanice do druhé bez chyb. K datům přiřazuje významové bity (start bit, stop bit aj.) a adresy příjemce.

1.5.3 Síťová vrstva

Podobně jako linková vrstva, tak i síťová vrstva k datům přiřazuje adresu příjemce. Tato adresa se po celý přenos informace nemění. Úkolem síťové vrstvy je nalézt co nejkratší cestu pro přenos dat. Dále zahrnuje multiplexing, což znamená přenos dat pro různá zařízení po stejném vedení v tentýž čas.

V porovnání s linkovou vrstvou se adresy nemění. Linková vrstva obsahuje adresu současného a následujícího uzlu, kdežto síťová vrstva přiřazuje adresu koncového zařízení umístěného v jiné síti.

1.5.4 Transportní vrstva

Transportní vrstva zodpovídá za přenos celistvé zprávy od zdroje k příjemci. Síťová vrstva zajišťuje přenos dat ke správnému zařízení, zatímco transportní vrstva zajišťuje přenos dat ke správné aplikaci.

Přenášená data je možné rozdělit do dvou a více skupin datových bitů. Každá skupina obsahuje potřebné adresy nutné k přenosu informace ke správnému zařízení a aplikaci a rovněž informaci o zpětné rekonstrukci zprávy.

1.5.5 Shromažďovací vrstva

Shromažďovací vrstva zřizuje, udržuje a synchronizuje vzájemnou komunikaci mezi komunikujícími zařízeními. Dále rozděluje dlouhé řetězce dat do menších bloků vhodných pro přenos. Takové řešení se ocení ve chvíli, kdy dojde ke krátkodobému přerušení přenosu. Při přenosu dlouhých řetězců by v takové situaci došlo k znehodnocení přenášených dat a celý proces by se musel opakovat znovu. Obdobné je to i při přenosu dat v menších blocích, ale s tím rozdílem, že dojde-li k přerušení toku dat, tak po opětovném navázání spojení postačí znovu poslat ten blok, při kterém došlo k přerušení komunikace. Tento způsob značně urychluje přenos informací na větší vzdálenosti, kde je vysoká pravděpodobnost přerušení komunikace anebo znehodnocení přenášených dat.

1.5.6 Prezentační vrstva

Prezentační vrstva umožňuje komunikaci dvou zařízení, u kterých je přenášená informace ve vnitřním systému vyjádřena jiným způsobem (například každé zařízení používá jiné kódování). Prezentační vrstva je v jistém smyslu překladatel, který mění formát zprávy užívané vysílačem na formát vhodný pro přenos. V cílovém zařízení mění formát zprávy zpět na formát, kterému přijímač porozumí.

Další funkcí je zakódování (dekódování) dat pro bezpečný přenos a komprese (dekomprese) dat. Hlavička, přiřazená k přenášeným datům, obsahuje informace o typu, parametrech a délce přenosu.

1.5.7 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva umožňuje uživateli nebo softwaru přístup do sítě. Tato vrstva tedy tvoří jakési propojení mezi přenosem dat a řídicím softwarem, pro který jsou přenášená data určena. Bez této vrstvy by došlo k přenosu dat, ale data by nebyla zpracována a na základě jejich vyhodnocení by nebyla provedena požadovaná činnost.

1.6 Režim přenosu dat

Režim přenosu dat definuje směr toku informace mezi dvěma komunikujícími zařízeními. Existují tři typy režimu: simplex, half-duplex a full-duplex.

1.6.1 Simplex

Jedná se o jednosměrný tok informací po datové lince. To znamená, že ze dvou zařízení je jedno vysílačem a druhé přijímačem (přijímač nikdy nebude vysílačem).

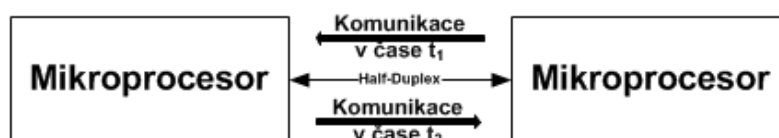
Tento typ se využívá například pro komunikaci mezi senzorem, nebo akčním členem a řídicí jednotkou, jak je znázorněno na obrázku 2. Jako příklad uveďme systém vstřikování paliva v automobilech. Senzor otáček motoru vysílá informaci o aktuální poloze klikové hřídele řídicí jednotce. Ta po vyhodnocení příchozího signálu určí polohy pístů v jednotlivých válcích (nejčastěji prvního), podle kterého rozhodne, kde se bude vstřikovat palivo. Dále získá informaci o otáčkách motoru, podle kterých určuje předstih vstřiku paliva. Na základě těchto informací vygeneruje na svém výstupu impulz pro akční člen, v tomto případě vstřikovač.



Obrázek 2: Simplex

1.6.2 Half-duplex

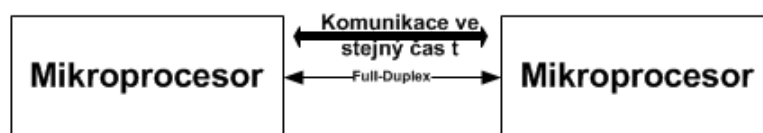
V režimu komunikace half-duplex, může být každá stanice přijímačem nebo vysílačem, ale ne ve stejném čase [1]. Tento mód je využíván tam, kde komunikaci řídí hlavní jednotka, tzv. master, dalšími jednotkami jsou podřízené moduly, neboli slavy (z anglického slave = sluha). Master určuje, zda slave bude vysílačem nebo přijímačem. Současně po datové lince mohou komunikovat pouze dvě zařízení. Tedy jedno zařízení je vysílačem a druhé přijímačem.



Obrázek 3: Half-duplex

1.6.3 Full-duplex

Posledním režim komunikace je full-duplex. V tomto módu mohou být zároveň data vysílána i přijímána. To znamená, že obě komunikující zařízení jsou zároveň vysílačem i přijímačem. Z toho vyplývá, že komunikační linka musí obsahovat minimálně dvě, fyzicky oddělené, přenosové cesty, jimiž mohou být například vodiče. Není možné přenášet informace zároveň v obou směrech po jediném vodiči se shodným kmitočtem. Jestliže by oba mikroprocesory vysílaly a přijímaly na jiných kmitočtech, bylo by možné realizovat přenos dat po jediné kroucené dvojlince. Toto řešení je ovšem hardwarově náročnější a ve většině případů vstupní obvody mikroprocesoru přijímají i vysílají data se stejným kmitočtem.



Obrázek 4: Full-duplex

1.7 Digitální signál

Digitální signál je reprezentován dvěma stavy, 0 a 1. Nula (též logická 0), představuje například stav vypnuto a naopak logická 1 představuje stav zapnuto. Digitální signál je popsán jeho amplitudou, periodou a fází. To se týká periodických signálů, ale v praxi se v převážné většině setkáváme s digitálními signály aperiodickými. Tyto signály jsou pak popsány novými termíny:

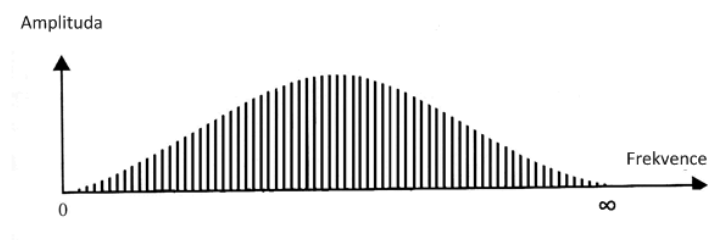
- bitový interval (náhrada periody), který reprezentuje čas potřebný pro odeslání jednoho bitu.
- bitová rychlost (náhrada kmitočtu), která udává počet přenesených bitů za jednu sekundu, tedy rychlost přenosu informací. Jednotkou je bit za sekundu bit/s. [1]

1.7.1 Spektrum digitálního signálu

Z Fourierovy řady vyplývá, že jednotlivé signály můžeme rozložit na posloupnost sinusovek (tzv. harmonické), každá s jinou frekvencí, amplitudou a fází. To lze říci i o digitálních signálech.

Digitální signál je složen z nekonečného počtu harmonických signálů. To znamená, že při přenosu informace po přenosovém vedení posíláme nekonečný počet sinusovek. Jelikož reálné přenosové vedení má určitou přenosovou kapacitu, dochází u přijetí zprávy ke zkreslení signálu.

Když pošleme pouze spektrum užitečných harmonických, můžeme na vstupu signál obnovit s dostatečnou přesností. Tuto část nekonečného spektra nazýváme užitečným a šířku pásma užitečným pásmem [1].



Obrázek 5: Šířka pásma [1]

1.7.2 Přenos digitálního signálu

Bitová rychlost je závislá na užitečné šířce pásma, to znamená, když se zvýší přenosová rychlost, zvýší se i šířka užitečného pásma [1].

Jistým omezením při přenosu digitálních signálů je fakt, že každé přenosové médium má svoji limitní šířku pásma. To znamená, že při přenosu digitálního signálu s užitečnou šířkou pásma větší, než je šířka pásma přenášeného média, dochází u přijímače k výraznému zkreslení a tudíž ke ztrátě informace. Více k této problematice je uvedeno v kapitole o přenosových médiích.

1.8 Přenos digitálních informací

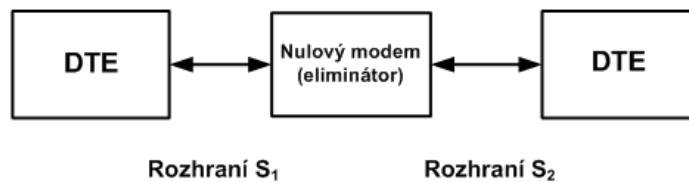
Zdrojem digitálních dat může být mikrokontroler, počítač nebo jiné elektronické zařízení. K přenosu informace po komunikační lince však potřebuje přídavné zařízení, které upraví signál pro přenos. To znamená, že přeneší informaci na nosný kmitočet. Tento proces se nazývá modulace. Mezi zdrojem digitální informace a tímto pomocným zařízením (může to být například modem) existuje jisté rozhraní (angl. Interface). Toto rozhraní je definováno jednotlivými standardy, definující mechanické, elektrické a funkční specifikace, a je součástí fyzické vrstvy OSI modelu. Na obrázku 6 je znázorněno blokové schéma komunikace přes několik rozhraní. DTE (angl. Data Terminal Equipment) je koncové zařízení pro přenos dat a DCE (angl. Data Circuit Terminating Equipment) je zařízení ukončující datový okruh (například modem). Příkladem může být komunikace na větší vzdálenosti. DCE mění digitální signál na analogový a naopak. Rovněž musí disponovat patřičnými obvody pro úpravu signálu na tvar vhodný pro přenos. Tyto obvody nazýváme obvody rozhraní.

Jinou variantou přenosu je takzvaný nulový modem, kdy jsou dvě zařízení typu DTE propojena přímo, jak ukazuje obrázek 7. Příkladem může být propojení dvou zařízení pomocí RS-232.

Přenos digitálních dat může být paralelní nebo sériový. Sériový přenos se dále dělí na synchronní a asynchronní.



Obrázek 6: Datová komunikace



Obrázek 7: Nulový modem

1.8.1 Paralelní přenos

U paralelního přenosu se digitální informace přenáší ve skupinách, například jako jedno slovo nebo jeden byte. To znamená, že se najednou přenáší všech osm bitů. Jelikož po jednom vodiči můžeme přenášet v jednom okamžiku pouze jeden bit, potřebujeme při paralelním přenosu informace stejný počet paralelních vodičů jako je počet přenášených bitů.

Obecně paralelní přenos můžeme definovat jako přenos skupiny n bitů v jediném cyklu po n vodičích.

Výhodou paralelního přenosu je jeho rychlost. Ovšem má své limity v přenosové vzdálenosti. Také náklady na realizaci jsou vyšší proti sériovému přenosu, díky vyššímu počtu potřebných vodičů.

1.8.2 Sériový přenos

K sériovému přenosu se využívá pouze jeden vodič. Přenášené bity se posílají postupně bit za bitem.

Sériový přenos je možné využít pro přenos informace na větší vzdálenosti, jelikož na rozdíl od paralelního přenosu ještě nedosáhl limitů.

Sériovou komunikaci dělíme na synchronní a asynchronní.

1.8.3 Sériový asynchronní přenos

Asynchronní přenos informace probíhá mezi dvěma zařízeními, která pracují s odlišným strojovým cyklem (clk, neboli hodiny). Pro přenos dat je důležitá jejich vzájemná synchronizace. Zařízení na sobě pracují nezávisle, asynchronně, pouze během jejich vzájemné komunikace pracují synchronně.

K vzájemné synchronizaci je důležité na začátku komunikace vyslat tzv. start bit, podle kterého přijímač pozná, že se vysílač chystá k přenosu informace. Zesynchronizuje se a nastaví čítač synchronizačních impulsů. Na konci komunikace vysílač pošle stop bit, kterým přijímači signalizuje konec komunikace. Přijímač počítá přijaté bity a za osmým bitem hledá tento stop bit. Jakmile ho nalezne, ignoruje všechny další přicházející impulzy až do doby, než detekuje další start bit.

Touto metodou komunikace naroste celkový počet přenášených bitů na deset, kde osm bitů jsou informační a dva bity, nebo více, jsou signály pro přijímač [1]. Přenáší se maximálně jeden byte. S více přenášenými bity by rostlo riziko chyby způsobené desynchronizováním obou zařízení.

Asynchronní přenos informace znázorňuje obrázek 8. Start bit reprezentuje logická 0 a stop bit logická 1. Dále je možné data doplnit paritním bitem a dalším stop bitem.

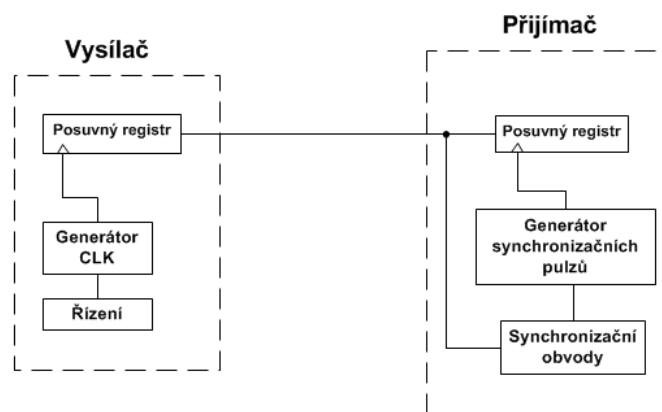


Obrázek 8: Asynchronní komunikace

1.8.4 Sériové vstupní a výstupní obvody UART

Sériová periferie UART se vyskytuje prakticky v každém počítači. Využívá asynchronní přenos jednotlivých znaků o délce 7 nebo 8 bitů. [3].

Při half duplex komunikaci stačí pouze jeden vodič pro přenos dat. UART pracuje na stejném principu, který byl popsán v předchozí kapitole. Začátek komunikace se řídí start bitem, který nastavuje synchronizaci. U přijímače je využito znakové synchronizace. Obrázek 9 znázorňuje vnitřní zapojení vstupně výstupní periferie UART.



Obrázek 9: UART

1.8.5 Sériový synchronní přenos

U sériového přenosu informace nejsou přenášena data po komunikační lince oddělena start bitem ani stop bitem. Informace je přenášena jako nepřetržitý řetězec logických nul a jedniček. Přijímač tento řetězec musí rozdělit do jednotlivých bytů či jiných celků informace (musí dekodovat přenášenou informaci). Přijímač tedy počítá příchozí byty a dělí je do skupiny čítající osm bitů, tedy jeden byte. Pro ukončení komunikace vyšle vysílač určitou posloupnost bitů, čímž dá přijímači najevo ukončení komunikace [1].

1.8.6 Sériové vstupní a výstupní obvody SPI

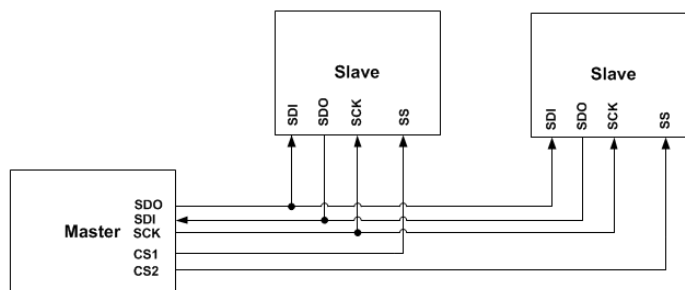
Sériová periferie SPI je typickým příkladem synchronního přenosu informace. Používá se pro komunikaci na krátké vzdálenosti, nejčastěji přímo na jedné desce plošných spojů, například pro komunikaci mezi mikroprocesorem a pamětí, převodníky, senzory apod.

Jelikož se jedná o sběrnici využívající synchronní přenos dat, je zřejmé, že jednotlivá zařízení budou propojena společným hodinovým impulzem. Hodinové impulzy generuje hlavní jednotka řídící komunikaci (Master). Hodnota hodinového kmitočtu se pohybuje od stovek kHz do několika MHz.

Další vodiče, které se musí použít, včetně hodinových impulsů jsou MOSI (Master out slave in), MISO (Master in slave out) a GND (signálová zem). Místo označení MOSI se někdy používá SDO (séριοvá výstupní data) a místo označení MISO se používá SDI (séριοvá vstupní data). U podřízené jednotky (slave) jsou piny SDO a SDI zaměněny, tedy SDI masteru je připojeno na SDO podřízené jednotky a naopak. Aby nedošlo k chybě, využívá se spíše označení MOSI a MISO, které jsou na obou komunikujících zařízeních označeny stejně.

Pro komunikaci masteru s více podřízenými uzly je zapotřebí přidat další vodič CS (chip select), což je výběrový vodič, kterým master vybírá slave s nímž chce komunikovat.

Sběrnice SPI, nebyla původně určena pro síť typu multimaster, přesto se i tyto síť objevují a některé mikrokontrolery to umožňují.



Obrázek 10: SPI

2. Přenosová média

Přenosová média se využívají k transportu signálu z jednoho zařízení do druhého. Přenosovým médiem může být vzduch, vakuum nebo jakýkoliv vodivý materiál (uvažujeme signál jako elektromagnetické vlnění). Zařízení mohou komunikovat dvěma způsoby, a to bezdrátově nebo pomocí kabeláže. V prvním případě neexistuje fyzické médium a signál se šíří ve formě elektromagnetického záření vzduchem.

Propojením fyzickými vodiči se přenáší signál ve formě elektrického proudu (napětí). Přenášený signál závisí na fyzikálních parametrech média. Používají se kroucené dvojlinky, koaxiální kabely a optické kabely. U optických kabelů je signál přenášen jako světlo. Výhodou optických kabelů je vysoká přenosová rychlost, nízký útlum a vysoká odolnost proti rušení. V následující tabulce je uveden přehled používaných kabelů a jejich šířka pásma.

Tabulka 3: Typy přenosových kabelů

Typ	Šířka pásma
Nestíněná dvojlinka (UTP)	100Hz - 5 MHz
Stíněná dvojlinka (STP)	
Koaxiální kabel	100kHz – 500 MHz
Optický kabel	Šířka pásma není omezena přenosovým médiem, ale dostupnou technologií pro generování a přijímání signálu. Kmitočet se pohybuje v řádu stovek THz (1THz = 10^{12} Hz.

U bezdrátového spojení jsou jednotlivým zařízením normami přiřazena kmitočtová pásma, která mohou využívat ke komunikaci. Celková šířka pásma určená pro bezdrátovou komunikaci je od 3 kHz do 300 GHz a odtud jsou přiřazena kmitočtová pásma jednotlivým zařízením tak, aby se jednotlivá pásma nepřekrývala a nedocházelo k rušení. Na obrázku 11 je uvedeno dělení celého spektra na jednotlivé úseky a v tabulce 4 je uveden příklad kmitočtových pásem určených pro jednotlivé systémy.

Bluetooth i WiFi používají stejné kmitočtové pásmo rozdělené do několika kanálů po 1 MHz. Aby nedocházelo k vzájemnému rušení, používají obě technologie speciální metody.

Tabulka 4: Příklady kmitočtového pásma

Zařízení	Šířka pásma
FM rádio	88 – 108 MHz
Bluetooth	2,4 GHz
WiFi	2,4 GHz

VDV	DV	SV	KV	VKV	UKV	SKV	EKV	
3kHz	30kHz	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz

VDV – velmi dlouhé vlny
 DV - dlouhé vlny
 SV - střední vlny
 KV - krátké vlny
 VKV – velmi krátké vlny
 UKV – ultra krátké vlny
 SKV – super krátké vlny
 EKV – extra krátké vlny

Obrázek 11: Kmitočtová pásma

3. Modulace

Modulací dochází ke změně charakteristických vlastností nosného signálu (amplituda, frekvence, fáze). Signál nesoucí informaci se nazývá modulační signál, signál vzniklý po modulaci se nazývá modulovaný. Modulací existuje celá řada, například analogově-analogová modulace, digitálně-analogová, analogově-digitální.

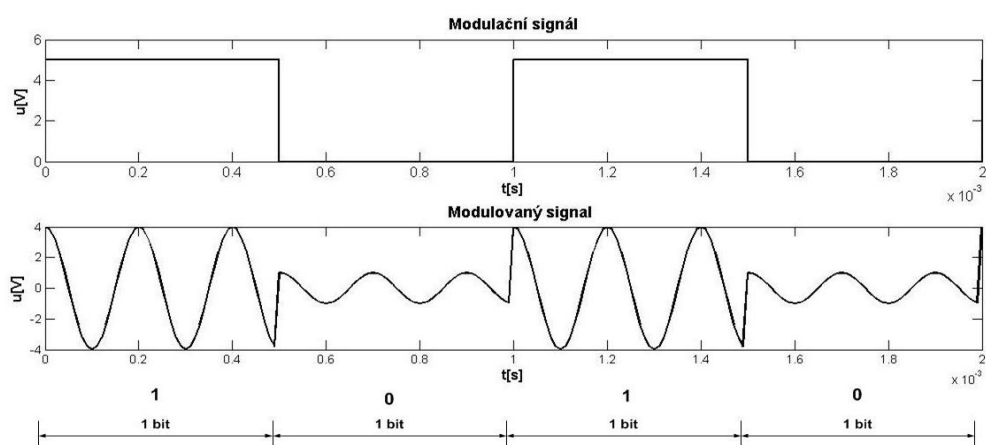
Podrobněji bude rozebrána digitálně-analogová modulace. Jde o převedení digitální informace na analogový signál, který reprezentuje binární 1 a binární 0.

Tohoto se dosahuje změnou amplitudy, frekvence nebo fáze analogového signálu. Změnu amplitudy používá ASK (amplitude shift keying) modulace, kterou v češtině nazýváme amplitudově klíčová modulace. Změnu kmitočtu používá FSK (frequency shift keying) modulace, v češtině se používá název frekvenční klíčová modulace a změnu fáze používá PSK (phase shift keying) v češtině nazývaná fázová klíčová modulace.

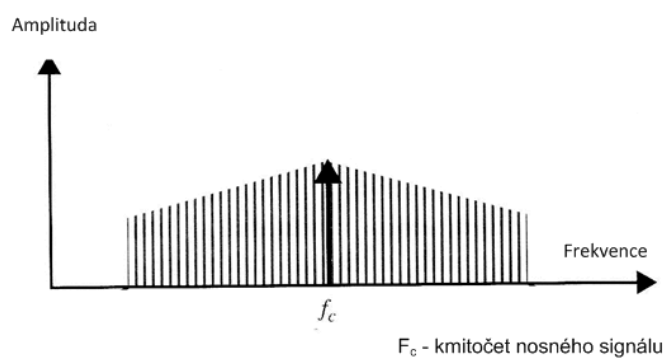
3.1 Amplitudová klíčová modulace (ASK)

U amplitudové klíčové modulace dochází ke změně amplitudy nosného signálu v závislosti na modulovaném signálu. Frekvence a fáze jsou beze změny. Při návrhu je určeno napětí které reprezentuje logickou 0 a logickou 1.

Amplitudová klíčová modulace je velmi citlivá na okolní rušení. Z tohoto důvodu se příliš nevyskytuje, nicméně se jedná o první používanou modulaci. Na obrázku 13 je znázorněna šířka pásma ASK modulace.



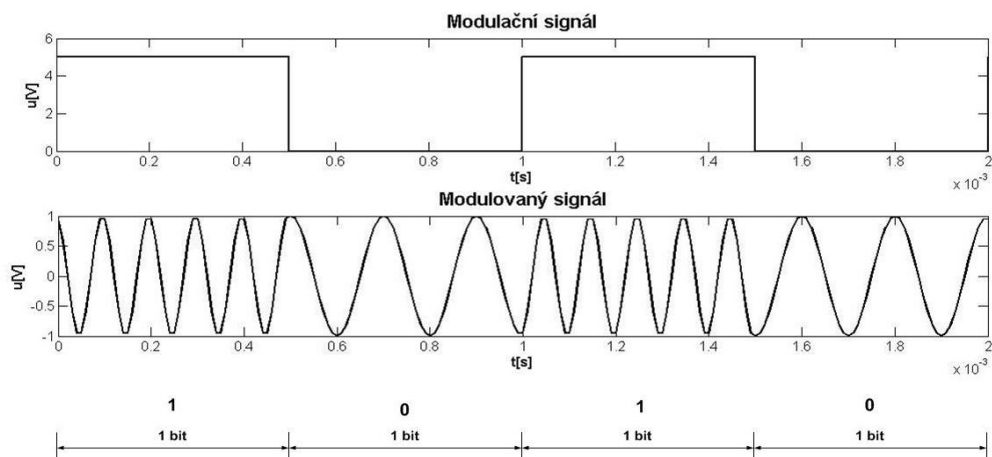
Obrázek 12: ASK modulace



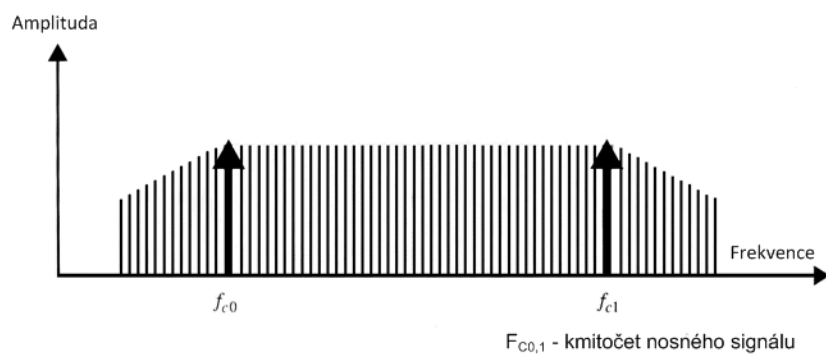
Obrázek 13: Šířka pásma [1]

3.2 Frekvenční klíčová modulace (FSK)

Frekvenční klíčová modulace se vyznačuje změnou frekvence nosného signálu v závislosti na modulačním signálu, při nezměněné amplitudě a fázi. Logické 1 odpovídá kmitočet f_1 a logické 0 kmitočet f_0 . V porovnání s ASK je FSK odolnější proti rušení a ztrátě informace. Na obrázku 15 je znázorněna šířka pásma modulovaného signálu.



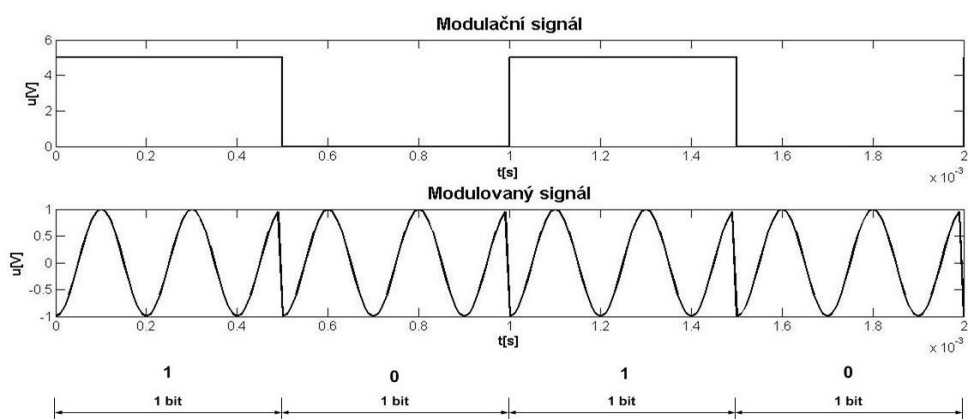
Obrázek 14: FSK modulace



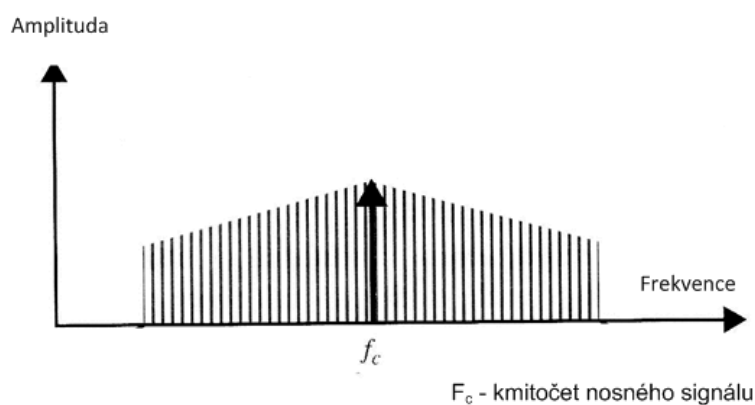
Obrázek 15: Šířka pásma [1]

3.3 Fázová klíčová modulace (PSK)

Fázová klíčová modulace využívá změnu fáze nosného signálu při konstantní amplitudě a frekvenci v závislosti na modulačním signálu. Změna fáze reprezentuje logickou 0 a logickou 1. Například fázový posun 0° reprezentuje logickou 1 a fázový posun 180° reprezentuje logickou 0. PSK modulace je nejvíce odolná proti rušení ze všech uvedených typů modulace. Na obrázku 18 je šířka pásma modulovaného signálu.



Obrázek 16: PSK modulace



Obrázek 17: Šířka pásma [1]

4. Interference

Interference je hlavní důvod, proč se po jednom vedení mohou šířit bezpečně pouze signály různých kmitočtových pásem a jsou přiděleny bezdrátovým zařízením jejich vlastní normované kmitočty.

Interference je vzájemné zesilování a zeslabování vln o stejném kmitočtu [4]. V závislosti na fázi může dojít k destruktivní nebo konstruktivní interferenci. Destruktivní interference nastane tehdy, pokud dvě vlny o stejném kmitočtu a stejné amplitudě jsou vzájemně fázově posunuty o 180° . Pak dojde k jejich úplnému vyrušení.

Opačný případ je konstruktivní interference, kdy jsou dvě vlny o shodném kmitočtu a amplitudě ve fázi. Pak vznikne jedna vlna o dvojnásobné amplitudě.

Máme-li dvě vlny popsané rovnicemi:

$$y_1(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2.1)$$

$$y_2(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.2)$$

Obě vlny mají stejnou amplitudu y_m , úhlový kmitočet ω a stejný úhlový vlnočet k , tedy stejnou vlnovou délku, ale obě vlny jsou navzájem fázově posunuty o úhel ϕ . [4] Výsledná vlna bude mít výchylku danou vztahem 2.3 [4].

$$y'(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) + y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.3)$$

Využitím vztahu 2.4[4] pro součet goniometrických funkcí sinus dostaneme výsledný vztah 2.5 [4].

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \quad (2.4)$$

$$y'(x, t) = 2y_m \cos\left(\frac{1}{2}\phi\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{1}{2}\phi\right) \quad (2.5)$$

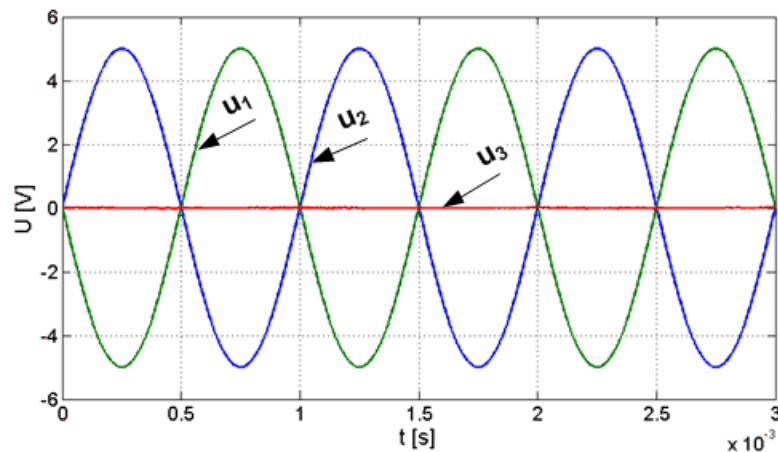
Interferencí dvou sinusových vln o stejné amplitudě a stejné vlnové délce, postupujících souhlasným směrem, vzniká opět vlna sinusová, postupující stejným směrem, jako obě výchozí vlny [4].

Tabulka 5: Druh interference odpovídající fázovému rozdílu

Fázový rozdíl [rad]	Amplituda výsledné vlny	Druh interference
0	$2y_m$	Úplně konstruktivní
$2\pi/3$	y_m	částečná
π	0	Úplně destruktivní
$4\pi/3$	y_m	částečná
2π	$2y_m$	Úplně konstruktivní

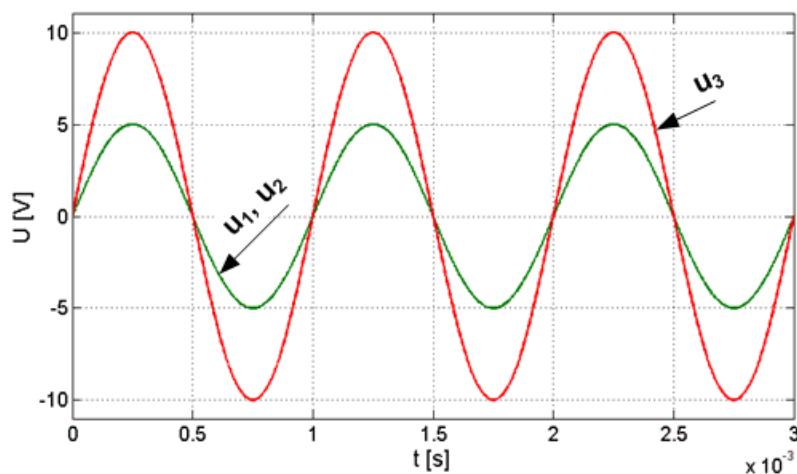
Je možno uvést příklad, co by se stalo, kdyby se po jednom vedení, ve stejný čas přenášeli dva obdélníkové signály stejného, nebo velice blízkého kmitočtu. Jak víme z předchozí kapitoly, obdélníkový signál je tvořen nekonečným množstvím sinusovek o různých kmitočtech a fázích. V tomto případě by došlo ke vzájemné interferenci sinusovek tvořících oba signály a k následnému zkreslení výsledného signálu na straně přijímače. Tedy dojde ke ztrátě informace.

Destruktivní interference



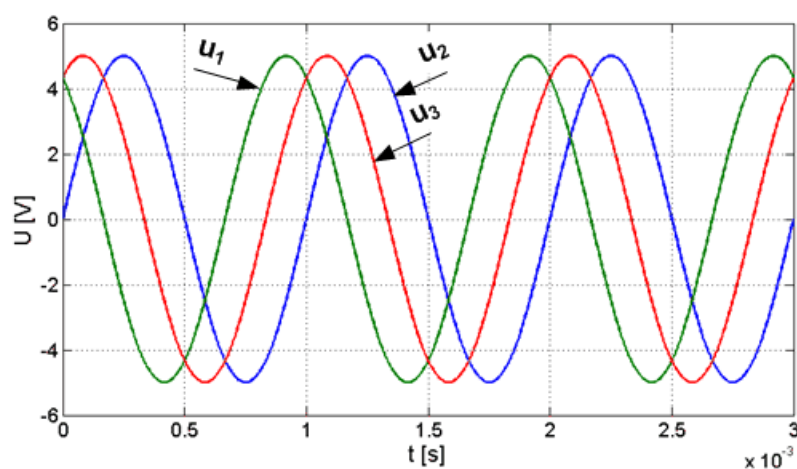
$$\begin{aligned} u_1 &= 5\sin(2\pi ft) \\ u_2 &= 5\sin(2\pi ft + \pi) \\ u_3 &= u_1 + u_2 \end{aligned}$$

Konstruktivní interference



$$\begin{aligned} u_1 &= 5\sin(2\pi ft) \\ u_2 &= 5\sin(2\pi ft + 2\pi) \\ u_3 &= u_1 + u_2 \end{aligned}$$

Částečná interference



$$\begin{aligned} u_1 &= 5\sin(2\pi ft) \\ u_2 &= 5\sin(2\pi ft + 2\pi/3) \\ u_3 &= u_1 + u_2 \end{aligned}$$

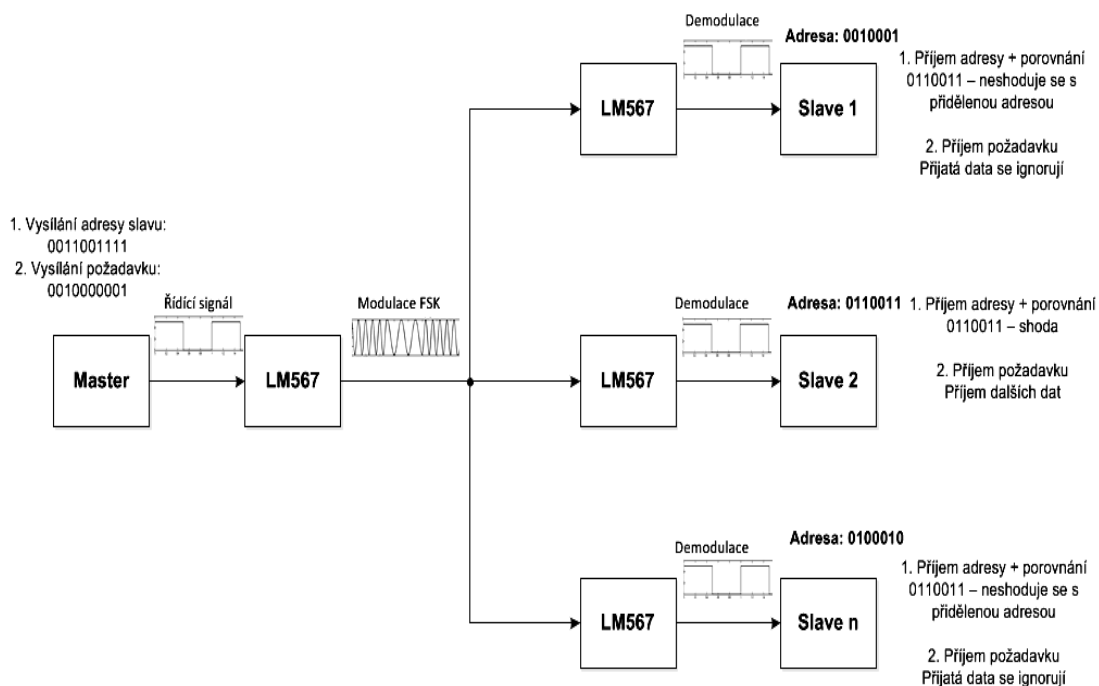
Obrázek 18: Přehled jednotlivých typů interference

5. Praktická část

5.1 Komunikace

Prvním úkolem bylo navrhnout způsob komunikace mezi modelem vláčku a řídicí deskou. Zde bylo využito základů systému PLC (Power Line Communications). Jedná se o přenos datového signálu po napájecím vedení. V tomto případě by se řídicí signál musel naimplementovat na kolejnice přes kapacitní vazbu. Dále bude uveden postup analýzy a AC charakteristika obvodu. Z důvodu velkého útlumu bylo od tohoto způsobu upuštěno. Pak byl zahájen vývoj na bezdrátovém přenosu informace s využitím infračerveného záření. Podrobnosti budou uvedeny dále.

Na obrázku 20 je znázorněný zvolený způsob komunikace. Jedná se o asynchronní, half-duplexní přenos. Jednotlivým přijímačům jsou přiděleny jejich vlastní adresy.



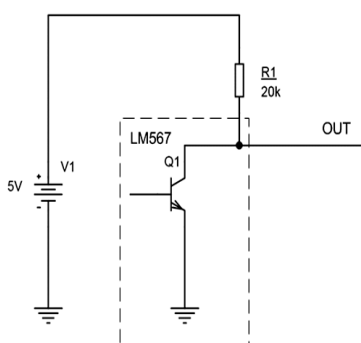
Obrázek 19: Komunikace řídicí desky s vláčky

Master začíná komunikaci vysláním této adresy společně s logickou jedničkou v devátém bitu, která zapříčiní přerušení u všech podřízených jednotek. Pokud slave zjistí v devátém bitu logickou jedničku, začne porovnávat přijatá data s přidělenou adresou. Když dojde ke shodě, je připravený pro příjem dalšího řetězce dat. V opačném případě příchozí data ignoruje a je ve stavu vysoké impedance. Ještě dodejme, že přenos řetězce bitů začíná start bitem (logická 0) a končí stop bitem (logická jednička).

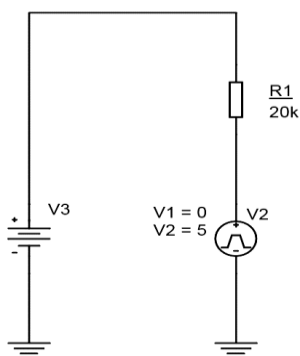
Jako modem byl použit integrovaný obvod LM567, který pracuje s FSK modulací. Více o tomto obvodu bude uvedeno v samostatné kapitole.

5.1.1 Analýza implementačního obvodu

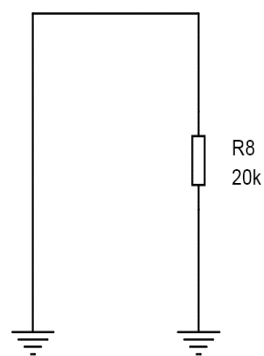
Prvním krokem bylo nahradit zdroj signálu, kterým je integrovaný obvod LM567, zdrojem napětí s vnitřním odporem. Obrázky 20 až 22 znázorňují samotný postup. Na výstupu obvodu LM567 je tranzistor s otevřeným kolektorem. K výstupu je podle doporučení výrobce připojený odpor 20 k Ω . Na výstupu je nulové napětí nebo napětí napájecího zdroje, v tomto případě 5 V. Výstup můžeme nahradit obdélníkovým zdrojem napětí. Poslední co je nutné udělat, je určit výstupní odpor náhradního zdroje napětí. To učiníme podle Theveninovy věty tak, že oba napěťové zdroje nahradíme zkratem. Výsledek je zobrazený na obrázku 20. Řešení s náhradou výstupního tranzistoru napěťovým zdrojem se nemusí zpočátku jevit jako správné, ale i kdybychom tranzistor nahradili proudovým zdrojem a výstupním odporem, výsledek by zůstal stejný, protože by se jednalo o paralelní zapojení dvou odporů o výrazně jiných hodnotách (desítky kiloohmů oproti stovkám kiloohmů), z nichž menší by byl 20 k Ω . Výstupní odpor by se blížil k této hodnotě.



Obrázek 21: Náhradní schéma LM567



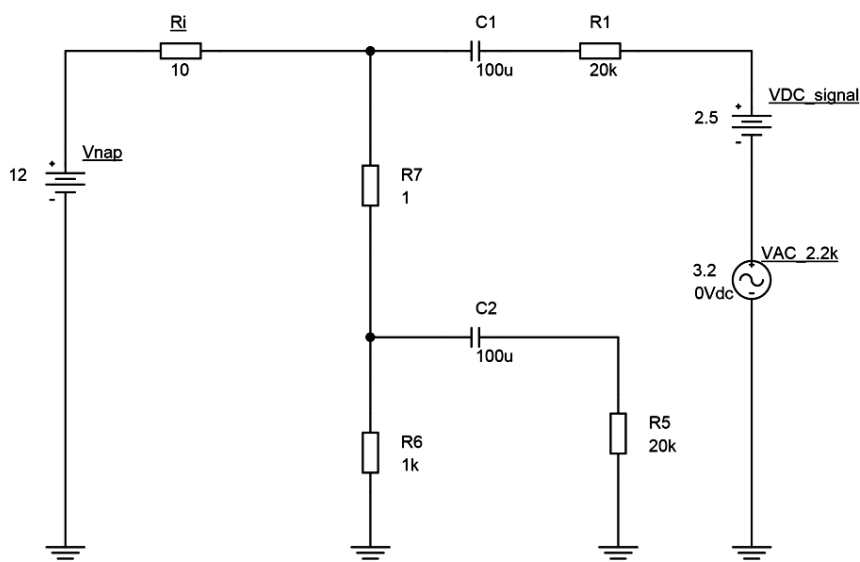
Obrázek 22: Upravené schéma zapojení



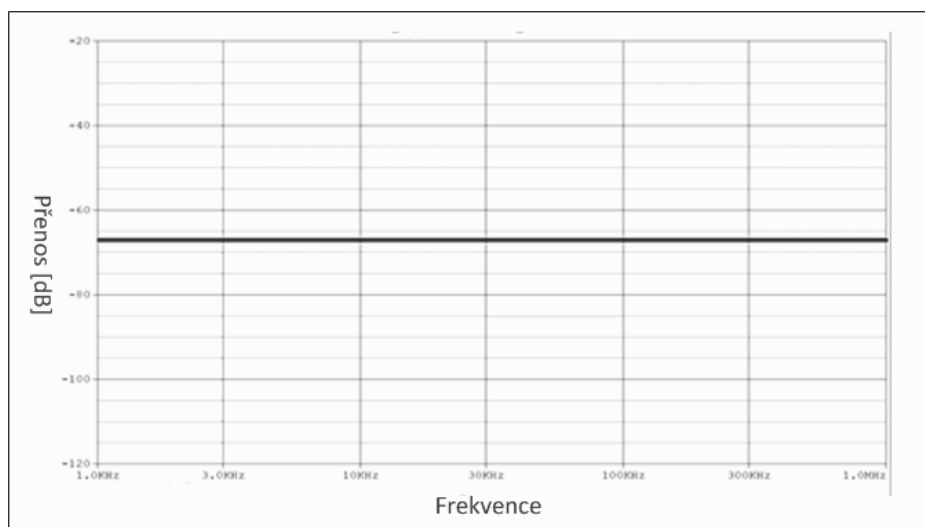
Obrázek 20: Vnitřní odpor

Na obrázku 23 je znázorněno náhradní schéma implementačního obvodu. Náhradní zdroj obdélníkového průběhu napětí z předchozího odvození rozložíme na základě Fourierovy řady na spektrum harmonických složek. Ve schématu je uvedena pouze první harmonická o kmitočtu 2,2 kHz a amplitudě 3,2 V určené z Fourierovy analýzy. Rovněž zde figuruje stejnosměrná složka signálu 2,5 V. Odpor R_5 je vnitřní odpor samotného integrovaného obvodu LM567. Odpor R_7 reprezentuje impedanci vedení a R_6 impedanci motoru.

Výsledek AC analýzy je na obrázku 24. Ze simulace je patrné, že obvod vykazuje útlum 65 dB. Toto je důvod, proč bylo od řešení ustoupeno a začalo se pracovat na vývoji komunikace prostřednictvím infračerveného záření.



Obrázek 23: Náhradní schéma implementačního obvodu



Obrázek 24: AC analýza

5.1.2 Integrovaný obvod LM567

Obvod se skládá z I a Q detektoru fáze řízeného napěťovým oscilátorem, který určuje centrální frekvenci dekodéru. Je založený na saturaci výstupního tranzistoru, pokud je vstupní signál okolo šířky propustného pásma. Externí komponenty slouží k nastavení centrálního kmitočtu, šířky pásma a zpoždění.

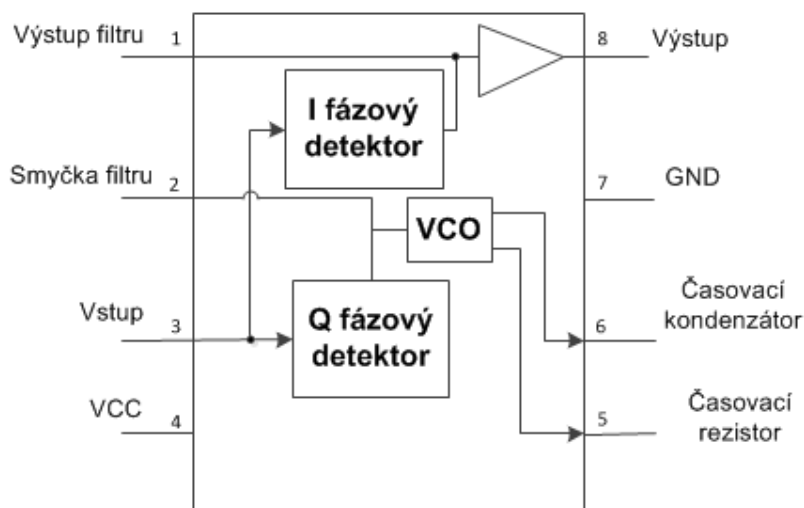
Obvod je možné využít pro modulaci i demodulaci signálu. V zapojení jako modulátor pracuje s FSK modulací. Nulový kmitočet reprezentuje logickou nulu a kmitočet vnitřního oscilátoru logickou jedničku.

V aplikaci je obvod využit k demodulaci, jelikož prostor v modelu vláčku je omezený. K modulaci slouží mikroprocesor. Stejně řešení je použito i u řídicí desky, jelikož se jedná o identická zapojení a stejné typy mikroprocesorů čímž se urychlí naprogramování obvodu a realizace nebude tak nákladná, což by byla nesporná výhoda při sériové výrobě.

Při demodulaci musí být kmitočet interního oscilátoru shodný s frekvencí, která je použita ke komunikaci. Při testování bylo právě toto hlavním problémem, vlivem tolerancí součástek určujících požadovaný kmitočet. Pak musely kondenzátory určující šířku pásma nabývat nižších hodnot (větší šířka pásma). To přinášelo další problém v podobě přenosu modulovaného signálu na výstup, když byl kmitočet modulačního signálu a nosný kmitočet blízko u sebe. K eliminaci tohoto jevu je možné využít několika možností. První možností je oddělení nosného a modulovaného kmitočtu tak, aby mezi nimi byla větší kmitočtová mezera.

Například využít 3 kHz a 20 kHz. Druhou možností je nastavovat kmitočet oscilátoru přijímače potenciometrem.

V aplikaci byl zvolen způsob řízení demodulátoru mikroprocesorem, který využívá externí krystalový oscilátor, vykazující minimální toleranci kmitočtu. Pomocí vestavěných předděliček a čítačů mikroprocesoru dosáhneme požadovaného kmitočtu. Z konstrukčních důvodů je po přetečení vnitřního čítače programově ovládán jeden z výstupů mikroprocesoru, kterým je řízen demodulátor. Signál je přivedený na vstup 6 podle obrázku 25.



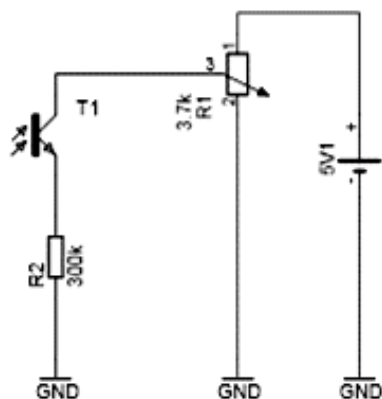
VCO - napětím řízený oscilátor

Obrázek 25: Blokové schéma IO LM567

5.1.3 Optoelektronické prvky

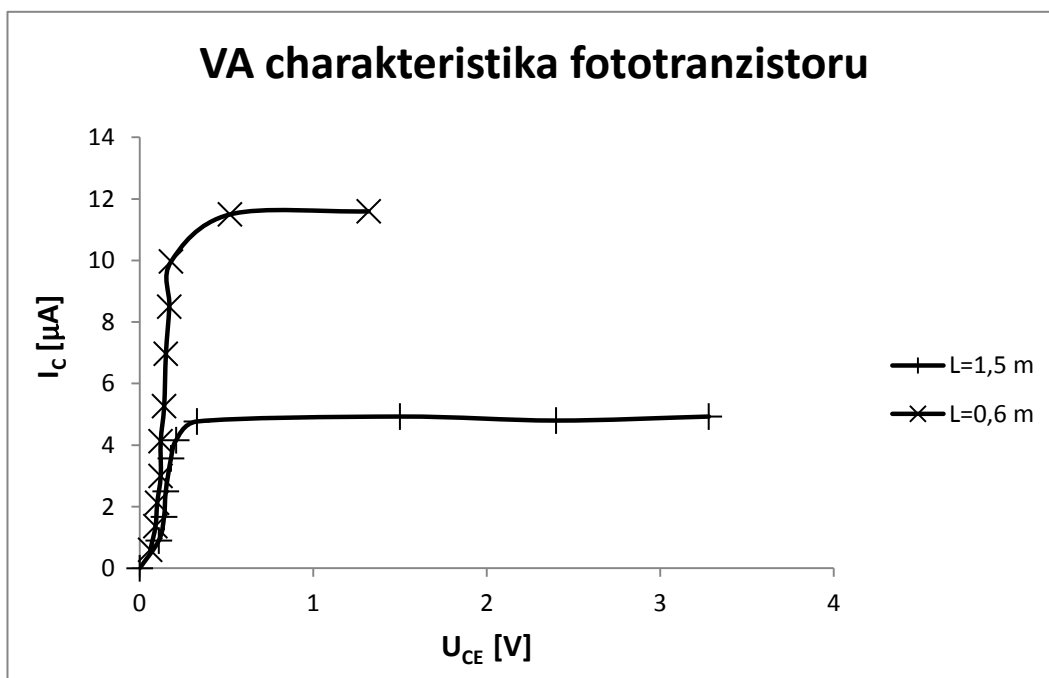
K vysílání slouží infračervená LED dioda (dále jen IR LED) a pro příjem fototranzistor reagující na infračervené záření.

Zaměříme se nejprve na návrh fototranzistoru. Prvním krokem bylo zjištění voltampérové charakteristiky. Schéma zapojení je na obrázku 26. Proud IR LED diodou byl nastaven na hodnotu 50 mA. V tabulce 6 jsou uvedeny naměřené hodnoty a na obrázku 27 je voltampérová charakteristika pro vzdálenost fototranzistoru od IR LED 0,6 m a 1,5 m. Změna vzdálenosti reprezentuje změnu intenzity infračerveného záření dopadajícího na fototranzistor. Aby bylo omezeno zkreslení výsledků působením okolního infračerveného



Obrázek 26: Schéma zapojení pro určení VA charakteristiky fototranzistoru

záření, byl fototranzistor po všech stranách zastíněn. Při měření byl použit zatěžovací odpor R_2 o hodnotě $300\text{k}\Omega$. V praktickém návrhu vývojového modulu je použit odpor o hodnotě $1\text{M}\Omega$ a pro zvýšení rozsahu bude ve vláčku hodnota odporu navýšena na konečných $10\text{M}\Omega$. Řešení s vysokým zatěžovacím odporem zajišťuje konstantní odběr proudu a nízký úbytek napětí v širokém rozmezí intenzity záření dopadajícího na fototranzistor, který pracuje v lineární oblasti.



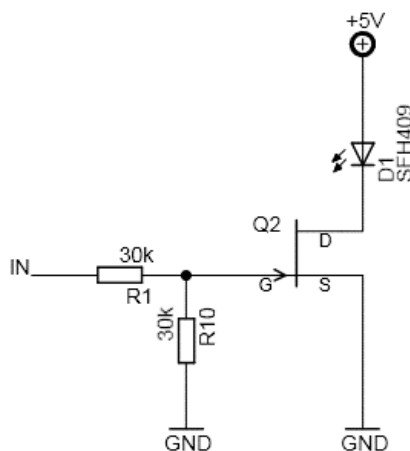
Obrázek 27: VA charakteristika fototranzistoru

Přes kapacitní vazbu se přenáší signál ze zatěžovacího odporu na vstup integrovaného obvodu LM567. Kondenzátor propouští pouze střídavou složku signálu, tím je minimalizováno ovlivnění demodulátoru okolním infračerveným zářením.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty

	L=1,5m		L=0,6m	
	Uce	Ic	Uce	Ic
1	3,28	4,93	1,32	11,6
2	2,4	4,8	0,52	11,5
3	1,5	4,93	0,18	9,97
4	0,33	4,77	0,17	8,5
5	0,21	4,16	0,15	6,97
6	0,18	3,57	0,14	5,27
7	0,15	2,5	0,12	4,13
8	0,14	1,67	0,12	3
9	0,11	0,9	0,1	2,13
10	0	0	0,09	1,37
11			0,06	0,6

Zapojení s IR LED diodou je na obrázku 28. Zapojení využívá režimu saturace tranzistoru pro omezení napětí na diodě. Z důvodu nízkého zatížení odporů typu 0603 a nastavení proudu IR LED diodou na co nejvyšší hodnotu pro vysoký dosah záření a také při dodržení zásady snadné a levné vyrobitelnosti výsledné desky s plošnými spoji (použití stejných typů součástek). Nevýhodou tohoto řešení jsou vyšší tepelné ztráty na tranzistoru.



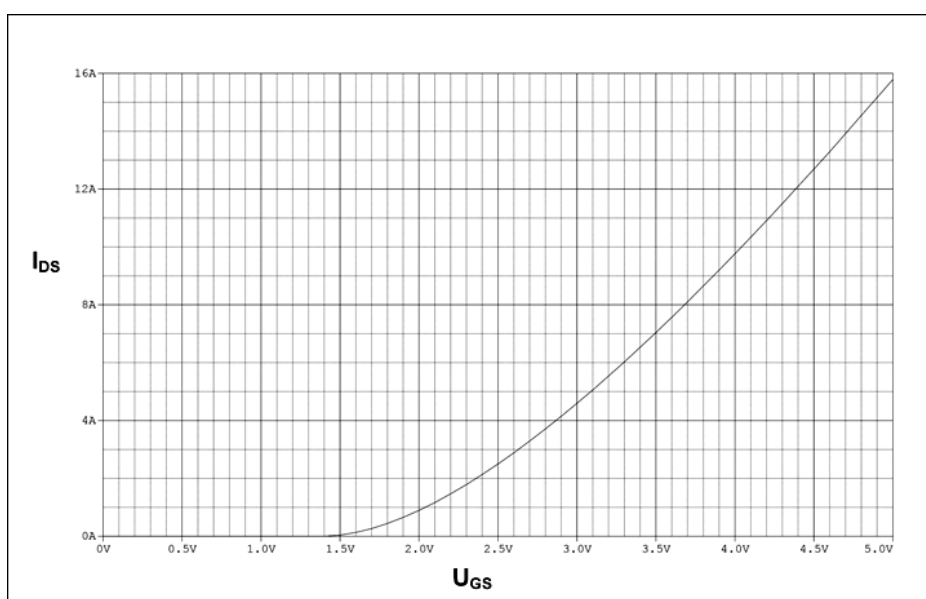
Obrázek 28: Zapojení IR LED diody

Jinou možností je použití odporu s jiným pouzdem, např. 1206, které vykazují vyšší zatížení. S velkou pravděpodobností by se ale muselo jednat o vývodový rezistor, který má vyšší výkonové zatížení. Toto řešení se zdá výhodnější, kromě dodržení zásad pro levnou výrobitelnost, což by v praxi mohlo být jistým problémem.

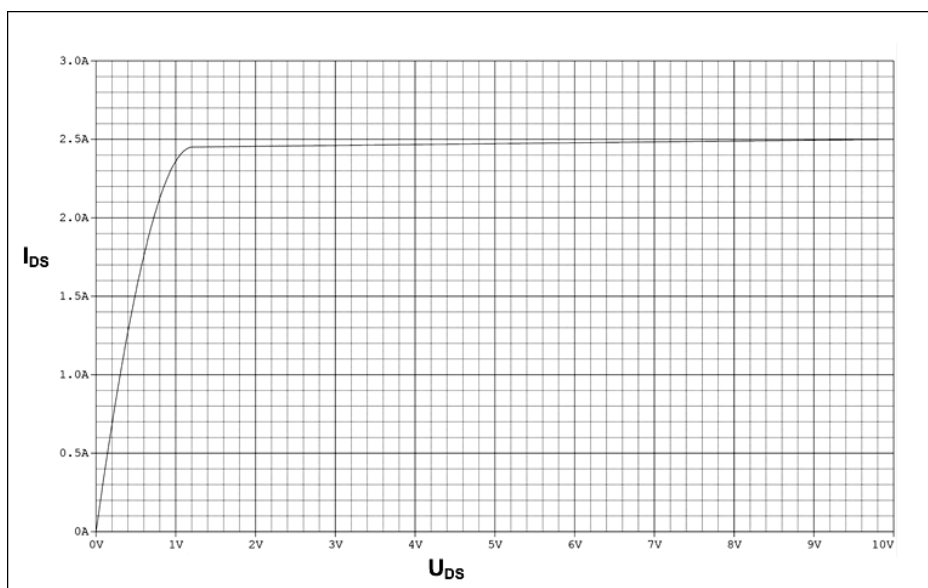
Pro vývojový modul bylo použito první řešení, kde se projeví jeho výhody nebo nedostatky, především ohřev tranzistoru, který je v modelu vláčku nežádoucí, protože se jedná o uzavřený prostor a nachází se zde i další součástky, které budou vykazovat značné tepelné ztráty. Nesmíme zapomenout, že tranzistor pracuje v režimu nespojitých proudů, z čehož vyplývá, že ztrátový výkon bude nižší než v režimu spojitých proudů, což může podporovat využití tohoto řešení, ale špičkový proud bude dosahovat vysokých hodnot a toto je třeba zohlednit na desce plošných spojů.

K řízení celého kolejiště prostřednictvím řídicí desky, bylo využito řešení s tranzistorem pracujícím v lineárním režimu s předřadným odporem. Předřadný odpor s IR LED diodou je umístěn mimo řídicí desku. V tomto případě se jedná o čistě vývodovou montáž. Napájení 5 V je získáno z řídicí desky.

Byl zvolen unipolární NMOS tranzistor IRLML2402. Jeho charakteristiky jsou na obrázcích 29 a 30. Tranzistor je umístěn na řídicí desce a přes konektor ovládá IR LED diodu. Řešení bylo zvoleno především z důvodu zvýšení proudu vlivem použití osmi IR LED diod pro pokrytí signálem větší rozlohy. Celkový proud tranzistorem je 480 mA. Pokud by bylo zvoleno předchozí řešení, ztrátový výkon by přesáhl mez stanovenou výrobcem. Následek by bylo přehřátí a zničení tranzistoru.



Obrázek 29: Převodní charakteristika tranzistoru IRLML2402



Obrázek 30: Výstupní charakteristika tranzistoru IRLML2402

Z charakteristiky bylo vybráno napětí U_{GS} 2,5 V. Proud IR LED diodami je 480 mA, pak z charakteristiky vyplývá, že tranzistor bude pracovat v lineárním režimu s vysokou rezervou. Nejdůležitější jsou ovšem nízké tepelné ztráty.

V tabulce 7 jsou znázorněny parametry tranzistoru a parametry navrženého napěťového děliče.

Tabulka 7: Parametry tranzistoru IRLML2402

Napěťový dělič		Tranzistor				
R_1, R_2	I_R	R_{DS}	I_{OUTMAX}	P_{ZTRMAX}	U_{DSMAX}	U_{GS}
1 M Ω	2,5 μ A	0,25 Ω	1,2 A	540 mW	20 V	2,5 V

Ztrátový výkon vypočítáme podle vztahu 5.1.

$$P_{ZTR} = R_{DS} I^2 \quad (5.1)$$

Pak se ztrátový výkon rovná:

$$P_{ZTR} = 0,25 * 0,480^2 = 57mW$$

5.1.4 Komunikační kmitočety

Komunikační kmitočety jsou omezeny rychlostí použitých součástek. Z katalogových listů vyplývá, že nejpomalejší součástí je vysílací fototranzistor. Právě tato součástka určuje rychlost komunikace. Dále musíme vzít v úvahu, že dochází k vysílání obdélníkového signálu. Tedy je nutné vysílat a v pořádku přijmout i další harmonické kmitočtové spektra, aby nedošlo k destrukci signálu a ztrátě informace. V tabulce 8 je přehled doporučených hodnot pro modulační a nosný kmitočty.

Kmitočty jsou voleny s rezervou, aby došlo k úspěšnému přenosu informace. Přenosová rychlost je pro danou aplikaci dostatečná.

Tabulka 8: Doporučené hodnoty komunikačních kmitočtů

Maximální kmitočty	20 kHz
Modulační kmitočty	Max 4 kHz
Nosný kmitočty	Min 5 x modulační kmitočty

5.2 Napájení

Pro volbu napájecího napětí je nutné vzít v úvahu jednotlivé komponenty, které bude kolejiště obsahovat. U většiny komponent výrobce předepisuje maximální napětí, jehož hodnota je klíčová pro návrh napájení. V této kapitole budou popsány jednotlivé komponenty, jejich předepsané hodnoty a možnosti napájení. Budou popsány klady a zápory a ke konci kapitoly popíšu výsledné optimální řešení s jednotlivými parametry.

5.2.1 Návěstidla

Návěstidel existuje celá řada, tak jako v reálném provozu. Pro modely vláčků se doporučuje napájení 12 V z důvodů vyšší spolehlivosti, maximální hodnota je 16 V. Návěstidlo obsahuje smd LED diody a předřadný odpor. Proud návěstidlem není blíže specifikovaný, ale můžeme předpokládat proud 20 – 50 mA. Předpokládáme, že proud bude 20 mA, ale pro dostatečnou rezervu návrhu budeme počítat i s 50 mA.

Napájení je vedeno společným vodičem černé barvy. Zbylé vodiče (počet závisí na LED diodách) je připojený k zemi. Z toho vyplývá způsob ovládání. Zemní vodiče jsou připojeny ke spínacím tranzistorům, které je při sepnutí připojí k zemi.

Návěstidla je možné napájet přímo ze zdroje 12 V nebo z proměnného zdroje napětí, při využití stabilizátoru napětí. Pro druhou variantu musíme spočítat celkový proud protékající návěstidly. Deska disponuje deseti výstupy, které je možno použít k ovládání návěstidel nebo přestavníků. V úvahu vezmeme jednoduchá odjezdová a příjezdová návěstidla obsahující

pouze zelenou a červenou LED diodu. Celkový proud získáme vynásobením proudů jednotlivými návěstidly deseti. Dostaneme celkový proud v rozmezí od 200 do 500 mA. V praxi bude aktivována vždy jen červená nebo zelená LED dioda, tedy celkový proud bude poloviční.

5.2.2 Přestavníky

Přestavníky existují mechanické nebo elektromechanické. Elektromechanické jsou ovládány elektromagnety (od nejlevnějších a nespolehlivých typů až po složité, spolehlivé a objemné přestavníky ukryté pod železnici) nebo pomocí elektromotorku. Přestavníky ovládané elektromotorkem jsou dražší, ale mezi modeláři velice oblíbené, protože doba přestavení výhybky je shodná jako na reálné železnici. Další výhodou je jejich spolehlivost, nepřehřívají se a neodebírají velký proud jako elektromagnety, u kterých se vyskytuje vysoká hodnota špičkového proudu.

Řadu důležitých základních parametrů výrobci přestavníků neuvádí (minimální nutnou a maximální přípustnou délku ovládacího impulsu, minimální a maximální přípustnou teplotu okolí, maximální dovolený počet přestavení za hodinu při maximální teplotě okolí, střední počet přestavení do poruchy, životnost-celkový počet přestavení) a případně další pro korektní výběr a aplikaci výrobku. [10]

Z výše uvedeného vyplývá, že navrhnout spínací prvek pro výhybky nepatří mezi jednoduché záležitosti, což je zapříčiněno nedostatkem informací o konkrétním typu od výrobce.

Spínací tranzistory jsou naddimenzovány na proud větší než 3 A. Předpokládáme, že takto velký proud přestavníkem, ovládaným elektromagnetem, nepoteče. Reálné hodnoty proudu, by se mohly pohybovat do 0,5 A. Výhodou je, že proud bude procházet pouze při přestavení výhybky a po projetí soupravy se vyhybka vrací do klidového stavu a proud na nulovou hodnotu. Tepelné namáhání bude závislé na délce sepnutí a tím na délce vlakové soupravy.

Uvažujme nejhorší případ, který by mohl nastat. Ke všem výstupům by byly připojeny přestavňíky v aktivním stavu. Pak by celkový proud dosahoval hodnoty do 5 A, ale hodnoty špičkových proudů i desítek ampér.

V takovém případě by musel být stabilizátor napětí dimenzován na tyto hodnoty proudu, což zvyšuje cenu celého systému.

V tomto příkladě se již řešení se stabilizátorem a proměnným zdrojem napětí ukazuje jako zcela nevhodné.

5.2.3 Motor

Největším odběratelem proudu je motor. Jeho spotřeba závisí na jeho zatížení. Dosáhnout hodnot okolo 0,5 A není problém. Výrobci uvádějí spotřebu nezatíženého motoru, která se pohybuje okolo 0,1 A.

Napájecí napětí motoru je závislé především na parametrech h-můstku, viz dále. Jako první variantou se jevil h-můstek s napájecím napětím do 10 V. Zde se ovšem naplno projevil problém s napájením. Při použití 12 V napájecího zdroje by muselo být použito stabilizátoru napětí na 10 V (použití předřadného odporu je nepřijatelné z důvodu vysokého tepelného namáhání). Při použití stabilizátoru jsme limitováni maximální hodnotou protékajícího proudu stabilizátorem. Typické hodnoty jsou do 2 A. Další nevýhodou je tepelný ohřev stabilizátoru a omezení počtu pohybujících se souprav po kolejišti.

5.2.4 Způsob napájení kolejiště

Z výše uvedeného vyplývá, že je nemožné použít stabilizátorů napětí pro jednotlivé části kolejiště bez patřičných omezení.

Celé kolejiště je napájeno ze stabilizovaného 12 V zdroje napětí. Pouze pro řídicí obvody je použit pěti voltový stabilizátor napětí. Proud řídicí elektronikou nepřesahuje hodnotu 100 mA na řídicí desce ani v modulu umístěném ve vláčku. Vývojové moduly určené ke komunikaci vlivem použití LED diod vykazují spotřebu do 200 mA.

Je tedy zřejmé, že rozsah výsledného kolejiště v počtu použitých komponent je závislý pouze na zdroji napájecího napětí. K dvanácti voltovému zdroji bylo přistoupeno i z důvodu, že se jedná o standardní napájecí zdroje určené pro modely kolejišť, a také jednotlivá zařízení jsou navržena na toto napětí.

Z výsledné desky se tímto stává univerzální řídicí jednotka určená pro řízení jakéhokoli modelu a je k ní možné připojit většinu dostupných součástí vyráběných pro modeláře vlakových kolejíšť, například pro další rozšiřování funkce celého modelu.

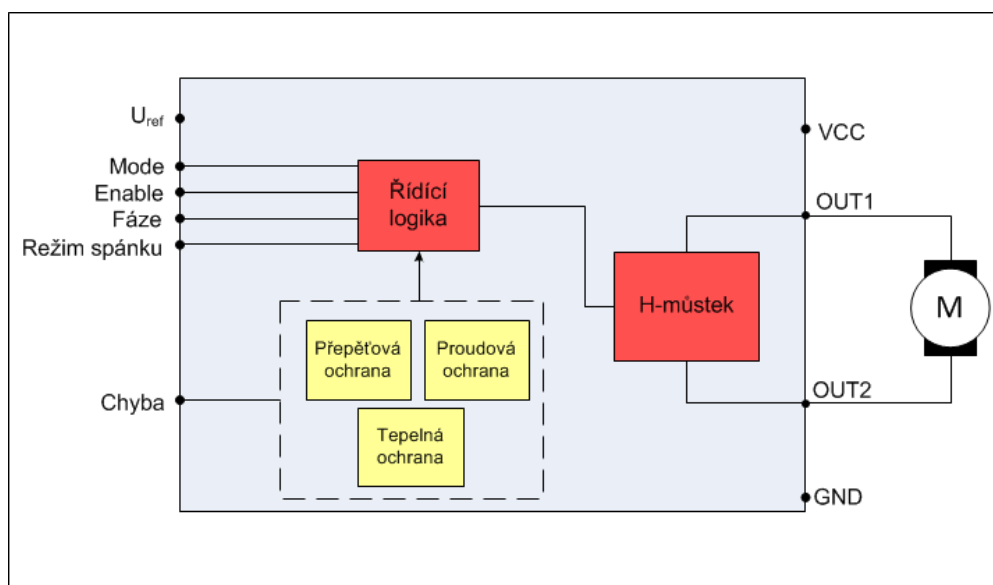
5.3 H-můstek

Mezi hlavní prvky systému patří H-můstek, který ovládá rychlost a směr jízdy modelu vláčku. H-můstek je umístěn ve vláčku společně s přijímačem a z toho plynou požadavky na jeho velikost. Hlavním požadavkem byla nenáročnost na prostor. Proto byl vybrán integrovaný h-můstek. Integrovaný h-můstek navíc disponuje dalšími ochrannými funkcemi, jako je ochrana před přehřátím, předpětím nebo proudová ochrana. Jelikož proud odebíraný motorem je závislý na jeho zatížení, je h-můstek navržen s dostatečnou proudovou rezervou. Proud motorkem vláčku se podle výrobce pohybuje v hodnotách okolo 100 mA. Maximální proud protékající h-můstkem jsou 3 A.

Dalším parametrem pro výběr byl nízký odpor kanálu tranzistoru v sepnutém stavu a napájecí napětí.

Nalézt optimální h-můstek tak, aby splňoval všechny požadavky, nebylo snadné. Jako prvním optimálním řešením se jevil h-můstek od firmy Texas Instruments drv8833. Jeho předností byl nízký odpor kanálu MOS tranzistorů okolo 0,3 Ω . Další výhodou byly malé rozměry pouzdra. Jedinou nevýhodou se jevily pouze další funkce obvodu, které pro aplikaci byly nadbytečné, a to především, že obvod je určený pro řízení dvou motorků nebo jednoho krokového motorku. Malé rozměry pouzdra byly rozhodujícím parametrem, jelikož jiné h-můstky byly rozměrnější a zahrnovali daleko více možností, například generování požadované modulace na základě kombinace vstupních hodnot. Tyto obvody výrazně ulehčují práci, ale jsou rozměrné a nákladné, a v aplikaci ve které je mikroprocesor, jsou neekonomické, jelikož PWM signál může generovat mikroprocesor. Jediná komplikace, která se vyskytla, bylo napájecí napětí, které bylo 10V což se později ukázalo jako problém.

Řešením se ukázal h-můstek opět od společnosti Texas Instruments drv8800. Je určený pro napájecí napětí motorku až 36V, proud 3A a odpor kanálu MOS tranzistoru 0,8 Ω . Rozměry pouzdra jsou stejné jako v prvním případě. Jediný rozdíl je v jiném ovládní. Drv8800 je určený pro řízení pouze jednoho motoru.



Obrázek 31: H-můstek

Na obrázku 31 jsou znázorněny jednotlivé bloky, které h-můstek obsahuje. Pracovní režim motorku určují vstupy enable, fáze a mode. Režim spánku (sleep) je režimem integrovaného obvodu. Tento režim zajišťuje v době nečinnosti minimální odběr proudu obvodem. Integrovaný obvod v sobě zahrnuje i bezpečnostní obvody, které brání před jeho poškozením. Tyto obvody jsou velmi důležité, neboť by se mohl h-můstek snadno přehřát nebo zničit vysokým proudem, což pro aplikaci s motorkem není problém. Jak již bylo zmíněno, proud, který motorek odebírá, je úměrný zatížení. K přehřátí může dojít, pokud bude motorek dlouho v provozu pod zatížením. Celý obvod je schovaný uvnitř lokomotivy, kde je omezený přístup vzduchu, což má za následek rychlejší oteplení celého systému. Mezi tyto obvody patří předpětová ochrana, proudová ochrana a tepelná ochrana. Na výstupu chyba (fault) je nízká úroveň, pokud by došlo k přehřátí, proudovému přetížení apod. Ovládací obvod ve vláčku je připravený i k vysílání a tedy může poslat řídicí jednotce zprávu o poruše, a ta následně informuje obsluhu.

Pravdivostní tabulka znázorňuje jednotlivé režimy motorku. Rychlost je regulována PWM modulací přivedenou na vstup fáze nebo enable. Vstupy *mode 1* a *mode 2* určují režim brzdění (pomalá demagnetizace) a demagnetizací (rychlá demagnetizace), bude vysvětleno dále. Vraťme se ke vstupům fáze a enable. Pro řízení rychlosti motorku je přiveden PWM signál na vstup enable a směr jízdy je dán vstupem fáze. Na vstupu enable se objevuje střídavě vysoká a nízká úroveň v závislosti na PWM signálu a podle pravdivostní tabulky se střídá režim motoru mezi jízdou vpřed (vzad) a demagnetizací. Jak bude demagnetizace probíhat, určuje stav na vstupech mode 1 a mode 2.

Tabulka 9: Pravdivostní tabulka

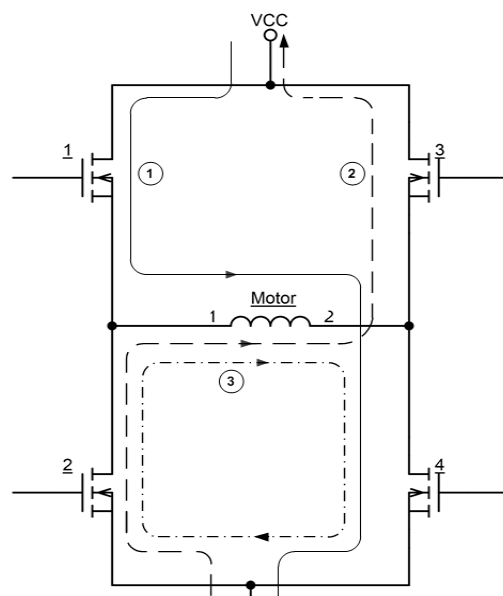
Fáze	Enable	Mode 1	Mode 2	nSleep	Out+	Out-	Činnost
1	1	x	x	1	H	L	Jízda vpřed
0	1	x	x	1	L	H	Jízda vzad
x	0	1	0	1	L	L	Brzdění
1	0	0	1	1	L	H	Inverzní režim
0	0	0	x	1	H	L	Inverzní režim
x	x	x	x	0	Z	Z	Režim spánku
x – nezáleží na hodnotě Z – vysoká impedance							

Na obrázku 32 je znázorněný h-můstek a vyznačený směr toku proudu v jednotlivých režimech. Směry proudů jsou převzaty z katalogového listu [13]. Pro přehlednost nejsou zakreslené ochranné diody. Uvedme příklad pro jízdu vpřed. Tok proudu je označen číslem 1, tranzistory 1 a 4 jsou otevřené. Při vypnutí tranzistorů indukčnost motoru brání změně proudu. Pokud proud přerušíme nebo se pokusíme změnit jeho směr, na motoru se objevuje napětí opačné polaroty, protože se indukčnost stává zdrojem napětí. Proud, označený 2, teče přes ochranné diody tranzistorů 2 a 3, které jsou v propustném směru a k tranzistorům jsou připojeny paralelně. Proud 3 znázorňuje brzdový režim a také směr proudu při unipolárním řízení. Obvod umožňuje jak bipolární tak i unipolární řízení chodu motoru.

Tepelné ztráty závisí na odporu kanálu tranzistoru v otevřeném směru a na efektivní hodnotě proudu podle vztahu 5.2.

$$P_{ztr} = R_{DS} I^2 \quad (5.2)$$

Odpor kanálu je $0,8\Omega$. Při uvažování efektivní hodnoty proudu $0,5\text{ A}$ je ztrátový výkon $0,4\text{ W}$. Předpokladem je, že celkový proud bude nižší, než je zvolená hodnota a tedy i ztrátový výkon. Pro dobrý odvod tepla bylo zvoleno pouzdro s ocelovou ploškou na spodní straně, která je připojena k zemi. Dodejme, že při návrhu h-můstku, ale i jiných spínacích



Obrázek 32: Směr toku proudu v jednotlivých režimech

tranzistorů, byla počítána potřeba chlazení. Jelikož v žádném případě nebylo zapotřebí využití chladiče, nejsou příklady výpočtu v práci uvedeny.

5.4 Spínací tranzistory

V této kapitole bude popsán návrh výstupních spínacích tranzistorů. Spínací tranzistory pracují v lineární oblasti voltampérové charakteristiky a díky nízkému odporu jimi mohou protékat vysoké proudy při minimálním výkonovém zatížení. Pro návrh tranzistorů bylo využito převodní a výstupní charakteristiky získané ze simulace.

Jedná se o tranzistory umístěné na řídicí desce celého kolejiště, které je možné využít pro ovládání návěstidel a přestavníků. Byl zvolen tranzistor IRF7301. Jedná se o unipolární NMOS tranzistor.

Při porovnání bipolárního a unipolárního tranzistoru hovoří ve prospěch unipolárního tranzistoru nižší spotřeba, tudíž nižší ztráty a tedy i tepelné namáhání. Ovládací proud unipolárního tranzistoru je nulový. Ovládací větví tranzistoru prochází pouze proud odporovým děličem, který nabývá minimálních hodnot (v jednotkách μA). Při porovnání unipolárních spínačů s bipolárními bylo dosaženo o 8 mA nižší spotřeby (celkem je na desce deset tranzistorů) když jsou všechny tranzistory v sepnutém stavu. To znamená menší proudové namáhání a ohřev mikroprocesoru a stabilizátoru napětí.

Prvním krokem bylo zjištění potřebných charakteristik tranzistoru k jeho návrhu. Z převodní charakteristiky bylo odečteno prahové napětí 1,3 V. Napětí U_{GS} musí být vyšší, než tato hodnota. Dalším krokem bylo zjištění výstupní charakteristiky krokováním napětí U_{GS} do 5 V. Na obrázku 34 je znázorněna výstupní charakteristika pro napětí $U_{GS} = 2,5$ V. Z charakteristiky je patrné, že tranzistor pracuje v lineárním režimu až do proudu 19 A, což daleko převyšuje fyzické možnosti daného tranzistoru. Napětí $U_{GS} = 2,5$ V je optimální volbou pro spínací tranzistor. Tato hodnota byla zvolena z důvodu, že se jedná o poloviční napětí výstupu mikroprocesoru, a proto je možné sestavit napěťový dělič z dvou shodných odporů. Toto je jedna ze zásad levného návrhu. Navrhnout co největší počet shodných pasivních součástek na desce plošných spojů.

Posledním krokem návrhu je výpočet ztrát na tranzistoru a případné chlazení. Odpor kanálu tranzistoru v sepnutém stavu je roven 50 m Ω . Ztrátový výkon vypočítáme podle vztahu 5.3.

$$P_{ZTR} = 2R_{DS}I^2 \quad (5.3)$$

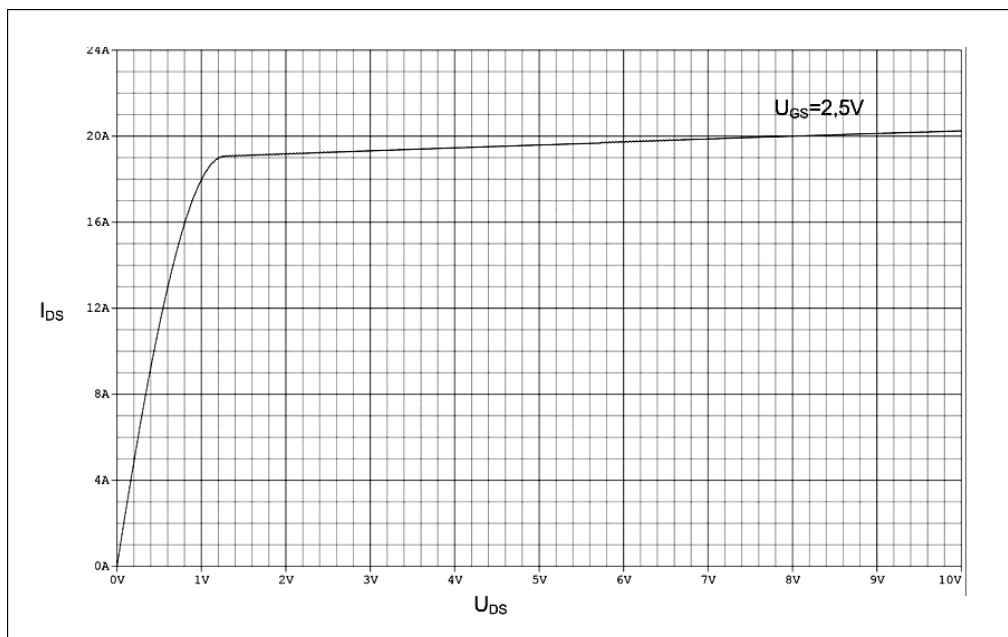
Celý vztah se násobí počtem tranzistorů v pouzdře Po dosazení za proud $I = 3\text{ A}$ dostaneme:

$$P_{ZTR} = 2 * 0,05 * 3^2 = 900\text{mW}$$

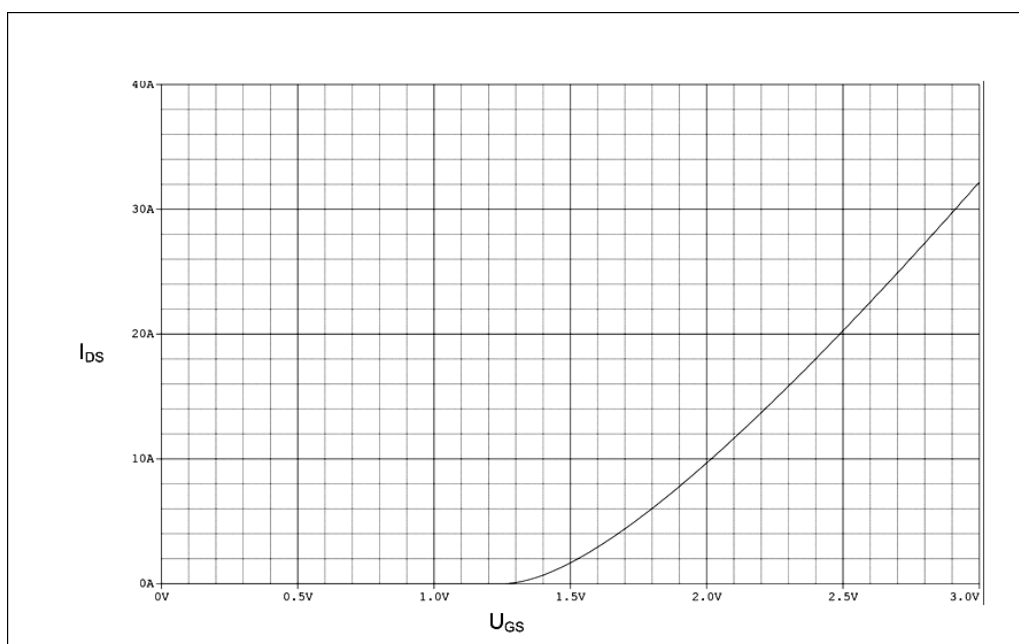
Při maximálním zatížení je předpokládán odběr na výstupu do 1 A. Katalogový list udává maximální výkonové zatížení 2 W. Při uvažování předpokládaného odběru proudu (1 A) je ztrátový výkon pouhých 100 mW. Další ztráty jsou přepínací, ale ty výrazně závisí na kmitočtu spínání a v tomto případě jsou zanedbatelné. Při ověření nutnosti chlazení se došlo k závěru, že se tranzistor ani při plném zatížení nedostane na kritickou teplotu. Výsledné parametry návrhu jsou shrnuty v tabulce 10.

Tabulka 10: Parametry spínacího tranzistoru

Napěťový dělič		Tranzistor				
R_1, R_2	I_R	R_{DS}	I_{OUTMAX}	P_{ZTRMAX}	U_{DSMAX}	U_{GS}
1 M Ω	2,5 μ A	0,05 Ω	3 A	900 mW	20 V	2,5 V



Obrázek 32: Výstupní charakteristika



Obrázek 33: Převodní charakteristika

5.5 Návrh desek plošných spojů

Při návrhu DPS byla dodržena obecná doporučení podle [5], [6] a [7], především pravidla pro snížení elektromagnetického vyzařování. Byly navrženy blokové kondenzátory s dostatečnou rezervou, a to jak lokální tak i skupinové pro mikroprocesor. Pasivní prvky byly zvoleny ve velikosti 0603. Toto opatření se týkalo především návrhu DPS ve vláčku z důvodu omezeného prostoru. Následně byly stejné součástky použity i u ostatních DPS. Důvodem bylo snížení výrobních nákladů, proto bylo navrženo použití součástek se shodnými parametry. Všechny součástky byly vybírány podle katalogových listů výrobce. Jednalo se především o kondenzátory, zda se v pouzdře 0603 vyrábí požadovaná hodnota kapacity a hodnota jmenovitého napětí. Elektrolytické kondenzátory byly voleny v pouzdře A. Na řídicí desce jsou použity i pouzdra B a C, vlivem přítomnosti vyššího napětí.

Použité odpory jsou rovněž velikosti 0603. Odpory se vybíraly podle dostupnosti dané hodnoty. Výkonové zatížení je pro tuto velikost pouzdra standardně 0,1 W. Z toho vyplývá, že se současným trendem snižování rozměrů součástek musí následovat i snižování spotřeby integrovaných obvodů i celých aplikací. Dále je zřejmé, že výkonové obvody miniaturizace nejsou schopné.

Návrh DPS pro model vláčku byl limitován prostorem, proto byla snaha o použití co nejmenšího počtu součástek a také volit součástky s minimálními rozměry. Deska je oboustranná. Na spodní straně desky je umístěn h-můstek k regulaci rychlosti jízdy vláčku (jediná součástka pracující s napájecím napětím) a stabilizátor. Na vrchní straně je rozvod napětí 5 V. Tím jsou obě části oddělené. Toto řešení bylo zvoleno, aby proud procházející motorkem neovlivňoval řídicí část systému. Na desce jsou navrženy dva otvory pro přívod napájecího napětí z kolejí a další dva pro napájení motorku (výstup h-můstku).

Ostatní DPS jsou jednostranné a pro svoji jednoduchost nejsou v této práci podrobně popsány. Jejich výrobní dokumentace je zařazena do příloh.

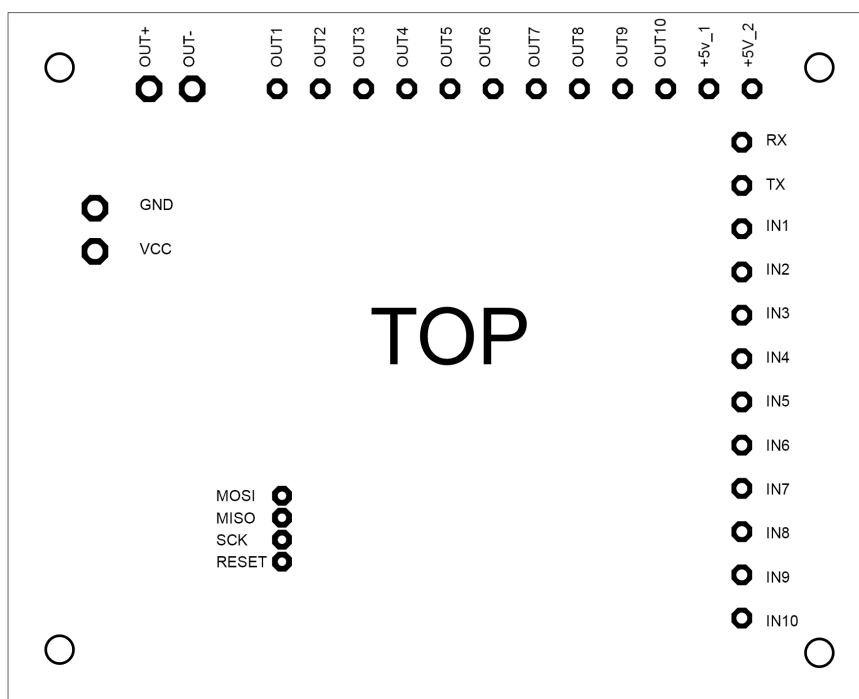
5.5.1 Řídicí deska

Z důvodu použití k návrhu DPS omezené verze programu EAGLE, je výsledná deska pouze oboustranná. Podle mého názoru by bylo výhodnější použití vícevrstvé DPS s vrstvami napájení +5V a řídicí část, napájení +12V, GND a signálová vrstva.

Na desce jsou připraveny otvory pro konektory s roztečí 5 mm s otvory o průměru 1,8 mm určenými pro konektory použité k napájení celé řídicí desky a jako výstupní konektory pro napájení kolejiště (OUT+ a OUT-). Dále otvory o průměru 1,3 mm, sloužící pro montáž konektorů určených pro napájení obslužných zařízení kolejiště (vyhybky,

návěstidla), celkem deset (OUT1 – OUT10) a stejný počet pro jejich ovládání (IN1 – IN10). Ke konektorům IN1 – IN10 jsou připojeny spínací tranzistory, které je sepnutím připojí na GND.

Dále jsou použity dva napájecí konektory +5V, které slouží pro napájení vysílacích IR LED diod a přijímacích fototranzistorů a dva konektory, které slouží pro připojení vysílacího a přijímacího signálu (TX a RX). Zde bych chtěl upozornit, že výstupy RX a TX slouží výhradně pro vysílání a příjem řídicích signálů. Není přípustné je připojovat k jiným zařízením. Poslední čtyři otvory s roztečí 2,54 mm a průměrem otvoru 1 mm slouží pro programování mikroprocesoru a jsou umístěny v jeho těsné blízkosti. Rozmístění vývodů na řídicí desce je znázorněno na obrázku 33. Vlastnosti jednotlivých konektorů jsou shrnuty v tabulce 11.



Obrázek 33: Rozmístění vývodů

Tabulka 11: Parametry vstupů a výstupů

Konektor	Vstup/výstup	Vstupní/výstupní napětí	Vstupní/výstupní proud	Počet
VCC	Výstup	12V	-	1
OUT+	Výstup	12V	-	1
OUT1 – OUT 10	Výstup	12V	3A	10
+5V	Výstup	+5V	1,2 A	2
IN1 – IN10	Vstup	12V	3A	10
RX	Vstup	+5V	V jednotkách μA	1
TX	Výstup	0,2V	1,2A	1

6. Závěr

V práci je popsán podrobný postup návrhu jednotlivých součástí modelu vlakového kolejiště. Výrobní dokumentace a schémata jsou uvedeny v přílohách.

Přenos řídicího signálu probíhá prostřednictvím infračerveného záření. Tohoto řešení se u podobných modelů často používá. V modelu vláčku je umístěn pouze jeden fotocitlivý prvek, který slouží pro příjem signálu, což je jedna z hlavních nevýhod řešení. Mohou totiž nastat okamžiky, kdy zpráva od řídicího členu, například příkaz k rozjetí, zastavení, zrychlení nebo ke zpomalení, nebude modelem vláčku přijata z důvodu odstíněných míst na trati. Tento nedostatek je třeba zohlednit při stavbě modelu železnice.

Příkladem odstíněného místa může být tunel nebo úsek trati za jakoukoliv překážkou, která brání průchodu infračerveného záření a není vhodné do těchto úseků umisťovat výhybky, návěstidla a železniční stanice. Odstíněná místa model vláčku projíždí nezávisle na obsluze, ale snahou každého modeláře je vytvořit dokonalý model kolejiště a je například nežádoucí, aby model vláčku projel červenou na návěstidlech bez zastavení.

Mezi další nevýhody patří umístění fotocitlivého prvku v modelu vláčku na pravé straně, pak se vláček může pohybovat pouze po směru hodinových ručiček, pokud je navržený vysílač umístěný ve středu modelu železnice. Vhodným řešením je umístění fotocitlivého prvku na čelo lokomotivy. Pak je možné odstranit většinu odstíněných míst použitím vysílací diody u trati, která by vysílala signál rovnoběžně s kolejemi. Podobným způsobem je možné umístit vysílací diodu i ve stanicích, kde by řídila odjezdy a zastavení modelů vláčků.

Řídicí desku, navrženou v této práci, je možné připojit ke kterémukoliv modelu železnice. Železniční modely jsou standardně napájeny napětím 12 V a řídicí deska, přes kterou je napájený model kolejiště, je navržena na toto napětí. Řídicí deska obsahuje napájecí konektory, určené pro ovládání návěstidel a přestavníků. Výstupy jsou navrženy na maximální výstupní proud 3 A a je na ně možno připojit návěstidla a přestavníky dostupné na současném trhu.

K dokončení funkčního modelu vlakového kolejiště je zapotřebí naprogramovat mikroprocesor na řídicí desce, který ovládá řídicí prvky kolejiště (výhybky a návěstidla) a mikroprocesor umístěný v modelu vláčku, který je určený k ovládání h-můstku. Zároveň je nutné oba mikroprocesory naprogramovat tak, aby byly schopny vzájemné komunikace. Pro otestování a doladění komunikace mezi mikroprocesory je určený vývojový modul přijímače a vysílače. Tento modul je rovněž možné použít k otestování PWM modulace.

7. Seznam použitých zdrojů:

- [1] FOROUZAN, Behrouz. *Introduction to Data Communications and Networking*. 1st Ed. Boston: WCB/McGraw-Hill, 1998, 714 s. ISBN 0-07-115710-7.
- [2] VLACH, Jaroslav a Viktorie VLACHOVÁ. *Počítačová rozhraní: Přenos dat a řídicí systémy*. 2., rozšíř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 175 s. ISBN 80-7300-010-5.
- [3] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vyd., 1. dot. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 159 s. ISBN 978-80-7300-110-0.
- [4] HALLIDAY, David et al. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2000, viii s., s. 330-576, příl. ISBN 80-214-1868-0.
- [5] ŠAUFEL, Jan Šaufel. PŘESTAVNÍKY VÝMĚN PRO MODELOVOU ŽELEZNICI. In: [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://modelyh0.com/tema/h0_prest.pdf
- [6] ZÁHLAVA, Vít. *Metodika návrhu plošných spojů*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, Elektrotechnická fakulta, 2000, 81 s. ISBN 80-01-02193-9.
- [7] ABEL, Martin. *Plošné spoje se SMD: návrh a konstrukce*. Pardubice: Nakladatelství Platan, 2000, 218 s. ISBN 80-902733-2-7.
- [8] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 270 s. ISBN 80-7300-181-0.
- [9] PLÍVA, Zdeněk. *EAGLE prakticky: řešení problémů při běžné práci*. Vyd. 1. Praha: BEN, 2007, 181 s. ISBN 978-80-7300-227-5.
- [10] ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. *MATLAB: začínáme se signály*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 271 s. ISBN 80-7300-200-0.
- [11] National Semiconductor. LM567/LM567C.1999. 8 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-05-01] Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/955/955-009/dsh.955-009.1.pdf>
- [12] Kingbright. L-932P3BT. 3 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-04-24] Dostupné z WWW: http://www.sos.sk/a_info/resource/pdf/king/l932p.pdf
- [13] Texas Instruments. DRV8800. 2012. 27 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-5-05] dostupné z WWW: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8800.pdf>
- [14] Opto Semiconductors. SFH 409-2. 2003. 5 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-4-16] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/511/511-400/dsh.511-400.1.pdf>

- [15] Para Light Electronics. L-C191KRCT. 2009. 14 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-4-16] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/960/960-269/dsh.960-269.1.pdf>
- [16] Cosmo Electronic Corporation. KL191YGX. 2004. 9 s. [online]. Datasheet. [cit 2013-4-16] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/960/960-035/dsh.960-035.1.pdf>
- [17] International Rectifier. IRF7301. [online]. Datasheet. [cit. 2013-05-04] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/213/213-156/dsh.213-156.1.pdf>
- [18] Philips Semiconductors. BC817.1997. 8 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-4-16] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/912/912-005/dsh.912-005.1.pdf>
- [19] Fairchild Semiconductor. KA7805. 2001. 29 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-4-29] dostupné z WWW: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/K/A/7/8/KA78XX.shtml
- [20] Atmel. ATmega8. 2013. 331 s. [online]. Datasheet. [cit. 2013-04-01] dostupné z WWW: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf
- [21] Euro Quartz. MJ Crystal. [online]. Datasheet. [cit. 2013-05-25] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/970/970-053/dsh.970-053.1.pdf>
- [22] International Rectifier. IRLML2402. 2005. 8 s. [online] Datasheet. [cit. 2013-05-25] dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/915/915-137/dsh.915-137.1.pdf>

8. Seznam obrázků, tabulek a příloh

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Datová komunikace	8
Obrázek 2: Simplex.....	14
Obrázek 3: Half-duplex.....	14
Obrázek 4: Full-duplex.....	15
Obrázek 5: Šířka pásma [1].....	16
Obrázek 6: Datová komunikace	17
Obrázek 7: Nulový modem.....	18
Obrázek 8: Asynchronní komunikace.....	19
Obrázek 9: UART	20
Obrázek 10: SPI	21
Obrázek 11: Kmitočtová pásma	23
Obrázek 12: ASK modulace	25
Obrázek 13: Šířka pásma [1].....	25
Obrázek 14: FSK modulace.....	26
Obrázek 15: Šířka pásma [1].....	26
Obrázek 16: PSK modulace.....	27
Obrázek 17: Šířka pásma [1].....	27
Obrázek 18: Přehled jednotlivých typů interference	30
Obrázek 19: Komunikace řídící desky s vlačky	31
Obrázek 20: Vnitřní odpor.....	32
Obrázek 21: Náhradní schéma LM567	32
Obrázek 22: Upravené schéma zapojení.....	32
Obrázek 23: Náhradní schéma implementačního obvodu.....	33
Obrázek 24: AC analýza	34
Obrázek 25: Blokové schéma IO LM567.....	35
Obrázek 26: Schéma zapojení pro určení VA charakteristiky fototranzistoru	36
Obrázek 27: VA charakteristika fototranzistoru.....	36
Obrázek 28: Zapojení IR LED diody.....	37
Obrázek 29: Převodní charakteristika tranzistoru IRLML2402.....	38
Obrázek 30: Výstupní charakteristika tranzistoru IRLML2402	39
Obrázek 31: H-můstek.....	44
Obrázek 32: Směr toku proudu v jednotlivých režimech.....	46
Obrázek 33: Rozmístění vývodů	51

Seznam tabulek

Tabulka 1: Stručný přehled organizací působících v elektrotechnickém a elektronickém průmyslu ...	10
Tabulka 2: OSI model	11
Tabulka 3: Typy přenosových kabelů	22
Tabulka 4: Příklady kmitočtového pásma	23
Tabulka 5: Druh interference odpovídající fázovému rozdílu	29
Tabulka 6: Naměřené hodnoty	37
Tabulka 7: Parametry tranzistoru IRLML2402.....	39
Tabulka 8: Doporučené hodnoty komunikačních kmitočtů	40
Tabulka 9: Pravdivostní tabulka	45
Tabulka 10: Parametry spínacího tranzistoru	48
Tabulka 11: Parametry vstupů a výstupů.....	52

Seznam příloh

Příloha 1: Schéma zapojení Řídící desky
Příloha 2: Schéma zapojení Vláčku
Příloha 3: Schéma zapojení Vývojového modulu – Vysílač
Příloha 4: Schéma zapojení Vývojového modulu – Přijímač
Příloha 5: Schéma zapojení Vysílacích IR LED diod
Příloha 6: Schéma zapojení Přijímacích fototranzistorů
Příloha 7: Motiv DPS - Řídící deska TOP
Příloha 8: Motiv DPS - Řídící deska BOTTOM
Příloha 9: Motiv DPS - Vláček TOP
Příloha 10: Motiv DPS - Vláček BOTTOM
Příloha 11: Motiv DPS - Vývojový modul - Přijímač TOP
Příloha 12: Motiv DPS - Vývojový modul - Vysílač TOP
Příloha 13: Motiv DPS - Vysílací IR LED diody BOTTOM
Příloha 14: Motiv DPS - Přijímací fototranzistory BOTTOM
Příloha 15: Osazovací výkres - Řídící deska TOP
Příloha 16: Osazovací výkres - Vláček TOP
Příloha 17: Osazovací výkres - Vláček BOTTOM
Příloha 18: Osazovací výkres - Vývojový modul - Přijímač TOP
Příloha 19: Osazovací výkres - Vývojový modul - Vysílač TOP
Příloha 20: Osazovací výkres - Vysílací IR LED diody TOP
Příloha 21: Osazovací výkres - Přijímací fototranzistory TOP
Příloha 22: Nepájivá maska - Řídící deska TOP
Příloha 23: Nepájivá maska - Vláček TOP

Příloha 24: Nepájivá maska - Vláček BOTTOM
Příloha 25: Nepájivá maska - Vývojový modul - Přijímač TOP
Příloha 26: Nepájivá maska - Vývojový modul - Vysílač TOP
Příloha 27: Nepájivá maska - Vysílací IR LED diody BOTTOM
Příloha 28: Nepájivá maska - Přijímací fototranzistory BOTTOM
Příloha 29: Servisní potisk - Řídící deska TOP
Příloha 30: Servisní potisk - Vláček TOP
Příloha 31: Servisní potisk - Vláček BOTTOM
Příloha 32: Servisní potisk - Vývojový modul - Vysílač TOP
Příloha 33: Servisní potisk - Vývojový modul - Přijímač TOP
Příloha 34: Servisní potisk - Vysílací IR LED diody TOP
Příloha 35: Servisní potisk - Přijímací fototranzistory TOP

9. Seznam symbolů a zkratek

GND	Nulový potenciál	
I_{DS}	Proud kanálem tranzistoru MOS	A
k	Úhlový vlnočet	Rad
P_{ZTR}	Ztrátový výkon	W
R_{DS}	Odpor kanálu tranzistoru MOS	Ω
U_{DS}	Napětí drain – source u tranzistoru MOS	V
U_{GS}	Napětí gate – source u tranzistoru MOS	V
VCC	Napájecí napětí	V
φ	Fázový posun	°
ω	Úhlový kmitočet	Rad
ASK	Amplitude Shift Keying, amplitudová klíčová modulace	
ASR	Anti Skid Regulation, protiprokluzový systém	
CAN	Controller Area Network, sériový komunikační protokol od firmy Bosh	
CLK	Hodinový impuls	
CS	Chip select (výběrový signál)	
DCE	Data Circuit Terminating Equipment, zařízení ukončující datový okruh	
DPS	Deska plošných spojů	
DTE	Data Terminal Equipment, koncové zařízení pro přenos dat	
DV	Dlouhé vlny	
EIA	Electronic Industries Association, asociace elektronického průmyslu	

EKV	Extra krátké vlny
ESP	Electronic Stability Program, elektronický stabilizační program
FSK	Frequency Shift Keying, frekvenční klíčová modulace
IEEE	Institute of Electrical and Electronics, institut elektrotechnických inženýrů
IR LED	Infračervená LED dioda
ISO	International standard organization
ITU-T	International Telecommunications Union – Telecommunication Standards Sector, Mezinárodní telekomunikační unie - Telekomunikační standardizační sektor
KV	Krátké vlny
MISO	Master IN Slave Out, hlavní jednotka je vstupem, podřízená výstupem
MOSI	Master Out Slave In, hlavní jednotka je výstupem, podřízená vstupem
NMOS	Tranzistor řízený polem
PLC	Power Line Communication, komunikace po rozvodné síti
PSK	Phase Shift Keying, fázová klíčová modulace
PWM	Pulse Width Modulation, pulzní šířková modulace
SDI	Serial Data In, sériová vstupní data
SDO	Serial Data Out, sériová výstupní data
SKV	Super krátké vlny
SMD	Součástky pro povrchovou montáž
SPI	Serial Peripheral Interface, sériové periferní rozhraní
STP	Shielded Twisted Pair, stíněná kroucená dvojlinka

SV	Střední vlny
TTL	Transistor Transistor Logic, tranzistorově-tranzistorová logika
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, univerzální asynchronní přijímač/vysílač
UKV	Ultra krátké vlny
UTP	Unshielded Twisted Pair, nestíněná kroucená dvojlinka
VDV	Velmi dlouhé vlny
VKV	Velmi krátké vlny